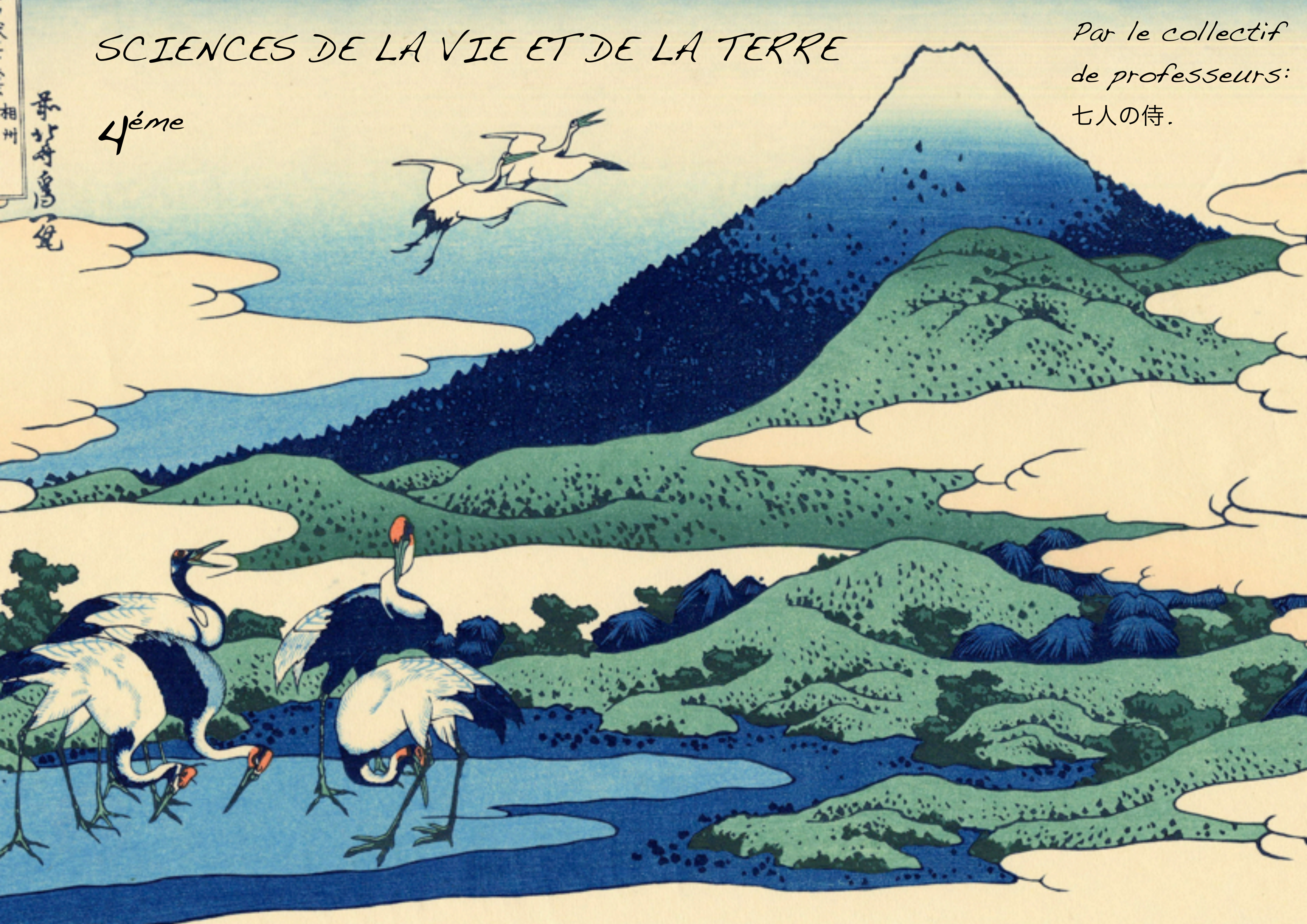

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE
4éme
Par le collectif
de professeurs:
七人の侍.
相州

«Afin que chacun, selon ses possibilités, puisse participer des lumières de son siècle.»

D. Diderot, préface de «l'encyclopédie»,1750

A l'attention des élèves...

Qu'est-ce qu'un manuel numérique de SVT ?

Présenter, organiser les connaissances indispensables pour préparer, soutenir et prolonger le travail de votre professeur.

Vous trouverez essentiellement dans ce manuel des connaissances, des prolongements de cours et de nombreux exercices corrigés.

Le but de ce manuel est de vous aider à progresser, à aller plus loin.

Il s'adresse à tous les élèves désireux d'avoir un support bien organisé, clair et précis pour travailler, mais aussi à tous les curieux se posant des questions sur le monde qui les entoure.

La plupart des manuels vous proposent de jolies photos et évitent d'exposer clairement ce que vous devez savoir. Ce n'est pas le cas de celui-ci. C'est pour cela qu'il y a «beaucoup de choses à lire». Ne comptez pas apprendre sérieusement quoi que ce soit sans faire cet effort, qui bien vite deviendra un plaisir.

Nous avons essayé de rendre le manuel le plus agréable possible, car il n'est pas de sciences sans joie.

Dans ce manuel:

- le cours présente ce qu'il faut savoir et détaille les raisonnements
- des résumés exposent les notions qu'il faut, comment dire... retenir ?
- les annexes (encadrés) permettent d'approfondir et d'illustrer un sujet
- les exercices présentent de quoi vérifier puis appliquer ses connaissances (car la science est aussi l'application de connaissances à des problèmes nouveaux pour générer des connaissances nouvelles, etc.)

Ce manuel fait largement appel à l'histoire des sciences, donc vous en profiterez pour réviser aussi votre histoire et même, chemin faisant, pour apprendre quelques définitions, citations et astuces qui vous permettront de mieux maîtriser votre expression écrite et, pourquoi pas, orale (les pages de vocabulaire à maîtriser vous y aideront).

La forme électronique de ce manuel vous permet de l'avoir toujours avec vous, dans vos téléphones, vos iPod, ipad, ordis, vos XO... Elle vous donne aussi accès à des vidéos ou des sites qui illustrent de nombreux phénomènes.

Un dernier détail: ce manuel est libre. Cela signifie que vous pouvez librement le copier, le télécharger, le mettre à disposition de tous vos amis. Vous pouvez aussi en utiliser des schémas, des textes, des illustrations dans un exposé, par exemple. N'oubliez pas toutefois de citer l'origine de vos documents de la façon suivante: «Manuel libre & gratuit SVT 4 - collectif des 7»

Et maintenant, au boulot!

Pr. R .Raynal - directeur d'ouvrage
Dr de l'Université de Toulouse
Août 2011

Évitez d'imprimer !



Un document sous forme électronique doit le rester le plus possible: c'est ainsi que vous aurez accès à toute sa richesse, à ses liens, ses vidéos et ses possibilités de navigation. Imprimer est le plus souvent inutile, et représente une dépense (en encre surtout, en papier ensuite) qui n'est pas négligeable. Si vous le pouvez, conservez et utilisez ce manuel sous sa forme électronique.

Programme



2011

A l’attention des professeurs de Sciences

ΑΓΕΩΜΕΤΡΗΤΟΣ ΜΗΔΕΙΣ ΕΙΣΙΤΩ

«Nul n’entre ici s’il n’est géomètre». Cette immarcescible injonction platonicienne, 25 siècles après son apposition au fronton de l’Académie, nous rappelle toujours que dans l’enseignement des sciences ne doivent entrer en compte que les processus typiquement scientifiques, caractérisés par une démarche particulière, une quête de connaissance, un mode unique d’interrogation sur le monde, d’interprétation et d’explication des phénomènes.

On trouvera donc dans ce manuel des connaissances, organisées et structurées, mises à disposition des élèves dans le but de les aider et de fournir à leurs professeurs des documents originaux utilisables en situation.

On n’y trouvera donc pas les diverses expressions des modes discutables en provenance des pseudo-sciences en général et de celles se vantant d’être «de l’éducation» en particulier. Au professeur, seul à même de juger de leur pertinence dans le cadre de ses classes et de son enseignement, de s’en inspirer ou de s’en défier. Librement.

La «mode» actuelle, en pédagogie, est de dégager des «situations problèmes» censées motiver l’étude des notions à assimiler. L’expérience montre que nombre de ces problèmes sont des injonctions formelles sans intérêt scientifique ou didactique. Dans ce manuel, **ce qui est à connaitre est explicitement mentionné, expliqué, détaillé, organisé, construit, de façon méthodique et précise**. Plutôt qu’une approche artificielle, nous avons préféré, à chaque fois que cela était possible, nous **référer à une approche historique montrant comment une notion a été construite, découverte au moyen d’éléments de l'Histoire des sciences.** Il s’agit de montrer à l’élève l'incarnation des méthodes scientifiques dans les Hommes et le temps, d’injecter une dynamique temporelle dans la statique de l’apprentissage.

Afin de faciliter le travail des élèves et de leur professeur, le manuel contient les éléments suivants :

- Une **approche historique intégrée dans les progressions**, montrant que la connaissance scientifique n’est pas une révélation, mais procède d’un ensemble historique jalonné d'erreurs, de mauvaises interprétations et d’avancées déterminantes.
- Des **rappels de vocabulaire** dans un glossaire à la fin de chaque chapitre.
- Des schémas, parfois volontairement très simples, afin que l’élève puisse les reproduire de lui-même, les apprendre et les utiliser.
- Des exercices variés, tous corrigés, à la fois pour que l’élève puisse s’évaluer, mais aussi pour l’aider dans ses révisions.
- des «questions d'élèves» répondant à des interrogations qui peuvent sembler élémentaires ou farfelues, mais qui reviennent régulièrement dans les salles de classe.

Le socle «commun», révolution imposée aux professeurs de SVT, court le risque de monopoliser un temps précieux pour un bénéfice à définir. Il concerne le professeur, seul juge-arbitre des «compétences» que fait travailler un exercice, et seul acteur de leur validation. Notre manuel étant conçu pour l’élève désireux de progresser et d’apprendre, donc de se construire en intégrant à sa personnalité les démarches scientifiques et les savoirs «savants» en découlant et non pas pour se contenter d’incarner «des procédures dans des processus», il n’y fait donc pas explicitement référence.

Enseigner les sciences, cette quête d’un absolu guidé par la raison, est une entreprise naturellement pluridisciplinaire, faisant appel à des notions de physique et de chimie, mais aussi d'histoire, de Français; et peut se doubler d’une démarche artistique. Nous avons essayé d’intégrer cette dimension humaniste dans nos progressions. Ainsi, certains phénomènes géologiques, par exemple, ont fait l’objet de nombreuses oeuvres d’art. Nous avons donc inclus dans le manuel des oeuvres diverses, en les replaçant dans leur contexte. Ne cachons pas que notre parti pris d’un humanisme moderne a été critiqué. D’aucuns nous ont affirmé qu’une telle exigence était impossible avec les élèves «tels qu’ils sont actuellement».

Contrairement aux apôtres de la renonciation, nous considérons que la mission de l’enseignement est justement de faire en sorte que l’élève devienne autre que celui qu’il est. Parce que nous nous intéressons plus à ce que les élèves doivent être qu’à ce qu’ils sont, nous avons tenté de contribuer à la réalisation de cet «impossible rêve».

Nous sommes extrêmement exigeants, c’est vrai. Car sinon, le risque est grand de voir les élèves devenir ce pour quoi on les prend. Nous ne saurions nous résigner à leur construire ce genre d’avenir.

Pr. Dr. R. Raynal - 型破りの男

Directeur de ce manuel

Les auteurs de cet ouvrage

Il y a un an, un nouvel éditeur de manuels scolaires contacta l'un d'entre nous, déjà auteur de plusieurs manuels libres et gratuits, afin de lui proposer la direction de la réalisation d'un manuel de SVT quatrième. L'éditeur, dûment averti de par les manuels déjà réalisés et par son directeur de publication des particularités de l'approche choisie, réunit une équipe de rédacteurs enthousiastes qui se mirent au travail.

Au bout de quelques semaines, certains «correcteurs» exigèrent des modifications si profondes qu'elles ne correspondaient plus avec notre vision de ce que doit être l'enseignement des Sciences. L'Éditeur, effrayé, abandonna donc le projet, mais son directeur, le reprenant à son compte, proposa à l'équipe de rédacteur de poursuivre bénévolement l'aventure afin de rédiger un manuel libre et gratuit conforme à leur façon d'envisager l'enseignement des sciences... Vous avez le résultat de leur travail sous vos yeux.

L'équipe d'auteurs réunie présente quelques particularités: elle comprend à la fois des professeurs expérimentés et des nouveaux venus dans l'enseignement. La grande majorité des auteurs est issue du monde de la recherche, certains provenant des meilleurs laboratoires du pays... et ne se voyant souvent offrir comme débouché, au terme de huit années d'études, que l'enseignement secondaire! Une autre particularité provient des pratiques pédagogiques différentes des professeurs en exercice: leurs chapitres s'en font l'écho, et j'ai tenu à maintenir leurs spécificités derrière l'unité de ton de l'ouvrage.

Ont contribué à ce manuel:

- Céline Bon, Dr es sciences (CEA - spécialiste des ADN anciens), professeur agrégé de SVT.
- Valérie Goubard, Dr es Sciences (Collège de France - spécialiste des cellules gliales), Pr agrégé de SVT
- Gwenael Le Kervadec, Dr es Sciences (paléontologie), Pr agrégé de SVT
- Jean Pierre Moussus, Dr es Sciences, professeur agrégé à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon
- Magali Naville, Dr es Sciences, chercheur contractuel à l'ENS (génomique fonctionnelle et évolutive), Pr agrégé de SVT.
- Roger Raynal, Dr de l'université de Toulouse, Pr de SVT, auteur de manuels libres et gratuits, traducteur de Darwin, directeur de ce manuel.
- Denis Seguette, Pr de SVT, spécialiste des pédagogies innovantes.

Puissions-nous en inspirer bien d'autres, et de meilleurs !

R .Raynal,
1 septembre 2011

Support en ligne

Le site www.exobiologie.info sera votre lien vers les mises à jour du manuel. Vous pourrez également joindre directement le directeur.

SOMMAIRE

Les tremblements de terre

ou comment les paysages sont bouleversés.



Destruction partielle du port de Sendaï au Japon, après le séisme majeur du 11 mars 2011. Après avoir fortement secoué même les immeubles les mieux construits, endommageant les bâtiments, le séisme a provoqué la formation d'une vague géante, ou tsunami, qui a dévasté la côte Nord Est de l'île principale du Japon, Honshu, endommageant fortement la centrale nucléaire de Fukushima. Photo US Navy.

L'étude des séismes permet de répondre aux questions suivantes :

Qu'est-ce qu'un séisme? Quelles sont les conséquences d'un tremblement de terre? Comment en expliquer le déclenchement brutal? Quel modèle acceptable pouvons-nous mettre en place afin d'en expliquer l'origine? Comment les scientifiques mesurent-ils la force d'un séisme ?

Des tremblements de terre qui inquiètent, mais...

*Les **séismes** ou tremblements de terre, à l'instar des grands phénomènes qui affectent violemment la surface du globe, représentent aux yeux des hommes des phénomènes extraordinaires et inquiétants à la fois. Cela se conçoit très facilement parce qu'ils provoquent des destructions, des modifications radicales du paysage et des pertes de vies humaines importantes en un instant très court lorsqu'ils se produisent à proximité des villes. Ainsi, dans l'Antiquité, les colères de la terre étaient aussi celles des Dieux.*

Or, actuellement, nous en connaissons les origines et mécanismes. Les tremblements de terre doivent être étudiés avec un regard et une démarche scientifique qui permettent leur compréhension : comprendre les secousses du sol c'est tenter de les prévoir et ainsi sauver des populations humaines.

Notre globe est animé, et les séismes en illustrent le dynamisme.



SOMMAIRE

Novembre 1755, alors que Lisbonne se prépare à célébrer les cérémonies de la Toussaint, tôt dans la matinée, un tremblement de terre dévaste, en cinq minutes, le centre de la ville et fait 60 000 victimes.

La peinture de Glama, Lisbonne, musée d'art ancien.

Les manifestations des séismes à la surface du globe.

Les séismes peuvent se produire dans tous les types de régions ou de paysages: forêts, déserts, fonds océaniques, mais aussi dans les villes. Bien évidemment, à cause des dommages provoqués et des victimes, l'actualité se reporte davantage sur les séismes meurtriers ayant touché des régions urbaines, très peuplées.

Étude d'un tremblement de terre récent : Haïti, le 12 janvier 2010

Nous sommes à Port-au-Prince, qui est la capitale d'Haïti (voir carte en haut à droite), l'un des pays les plus pauvre du monde. La ville compte 2,5 millions d'habitants. Vers 16h50, la terre tremble pendant 48 secondes.

Un témoin raconte au microphone d'une grande radio: *«moi, j'étais dans la rue quand ça s'est passé, j'étais dans une voiture et je rentrais chez moi. On a senti une énorme secousse, la voiture a failli chavirer et puis après elle s'est arrêtée nette. Tous les gens qui étaient à l'intérieur ont eu un gros choc. On a vu tout ce qui était tombé: les murs, les maisons, les fissures, il y a beaucoup d'accidents de voiture, beaucoup de personnes sont mortes écrasées, mais on ne sait pas combien au juste, une de mes nièces est blessée car la maison lui est tombée dessus. Il n'y a plus de moyens de communication et je ne peux pas appeler ma famille...je pense qu'il y a eu une grosse secousse et douze autres moins importantes....»*

Un deuxième témoignage d'une équipe de reportage d'une chaine de télévision précise qu'à 80 km plus à l'est de la capitale, la secousse était très faible. Ils ont constaté qu'aucune maison ne s'est effondrée, qu'aucune personne n'était blessée et que la population est restée calme.

Par la suite, le **CNRS** nous informe qu'une partie d'une gigantesque cassure du sol, nommée **faille**, passant au sud-ouest de la capitale, a surélevé le sol de 10 à 20 cm sur 50 km de long. Malgré cette longueur importante, on ne peut pas l'observer directement dans le paysage parce qu'elle se niche tout de même à une douzaine de kilomètres dans le sol d'Haïti, en dessous de la surface. D'autre part, elle est inscrite dans un réseau de fractures du sol bien plus grand.

Quelques jours après ce drame, on apprendra que la secousse principale aura détruit 1/3 de la ville, dont le palais présidentiel, les ambassades et la majeure partie des hôtels, épargnant l'aérodrome.

Le mois suivant, les informations confirment l'effroyable bilan : 230 000 morts, 300 000 blessés et 1,2 million de sans-abris. L'aide de toutes les Nations contribue à la reconstruction et au sauvetage de la population sinistrée.



Images satellites avant et après le séisme.

On constate d'importantes modifications du paysage notamment celles liées aux destructions urbaines : palais du président et rues.

Photos Google earth.



***Images satellites Haïti** intéressantes en raison de la localisation d'une modification majeure de la surface de la Terre : une cassure appelée faille (faille de Léogâne). Elle n'est pas observable directement au sol. Photo google Earth.*

Questions rapides :

Où est situé Haïti ? Que se passe-t-il lors d'un tremblement de terre ? En quoi un tremblement de terre est-il dangereux pour les populations humaines ? Combien de temps a duré la secousse ? Selon les témoignages, existe-t-il des signes qui annoncent la survenue du tremblement ?

Haïti avant et après le séisme.

Étude d'un tremblement de terre dans un pays développé : Kõbe, le 17 janvier 1995.

La ville de Kõbe, sur l'île d'Honshũ, est le plus grand port du Japon. Elle rassemble près de 2800 personnes/km² soit 1,5 million d'habitants, voire le double si l'on compte sa périphérie. C'est dans ce contexte qu'à 5h46 la région est sérieusement secouée pendant une vingtaine de secondes. Différents récits synthétisés nous éclairent sur les conséquences du phénomène...

Lors du tremblement principal, un bruit assourdissant accompagne les sursauts du sol, qui bouge surtout de haut en bas avec des écarts de 80 cm à 1m. En revanche les mouvements de droite à gauche sont faibles. Les témoins parlent d'une quinzaine de séismes de moindres importances faisant suite au premier tremblement. A chaque fois ce bruit, un grondement, accompagne les secousses du sol.



Les conséquences du séisme sur les constructions étaient immédiates: destruction par écroulement. En effet, les va-et-vient du sol cisaillaient les fondations des maisons et des immeubles. 721667 bâtiments seront fortement endommagés, dont 181799 complètements détruits par effondrement (ci-contre, un immeuble endommagé par le séisme - Photo Wikimedia).

D'autre part, la rupture des canalisations de gaz a été à l'origine de centaines d'incendies alourdissant les dégâts, puisque les ruelles, par endroits, étaient étroites et bordées de boutiques facilitant la propagation des flammes. Habituellement efficaces, les pompiers de Kõbe n'ont pu faire face aux feux en raison du manque d'eau dû à la rupture des canalisations d'eau. L'aéroport a été endommagé, des ponts couchés au sol, les rails des trains ont été tordus, les lignes souterraines détruites, les différentes industries ont dû arrêter leurs productions.

Les études de la région de Kõbe, par les **centres d'études géologiques**, révèlent la présence d'une cassure des roches du sous-sol, ou **faille,** qui **affleure** par endroits à la surface de la Terre. On peut ainsi l'observer et l'étudier. On constate qu'elle a bougé de 50 cm vers le haut et de plus de 1 m vers l'avant. De plus, elle s'étale sur plusieurs dizaines de kilomètres, plongeant ensuite dans le sol et échappant à l'observation directe.

Le bilan humain, matériel et économique donné par le centre de prévention des catastrophes naturelles de la mairie de Shinjuku-ku, est important : 6432 morts , 43 792 blessés. On estime à 100 milliards de dollars le coût des dégâts.

Que retenir de ces deux exemples de séismes ? **Les séismes sont dangereux quand ils se produisent à proximité des villes. Ils occasionnent des destructions importantes et des victimes, mais ils modifient aussi les paysages au travers de ces dégâts et des cassures du sol nommées failles.**

Questions rapides :

Localise sur un globe le Japon. Quelles sont les conséquences immédiates de ce tremblement de terre ? Quelles sont les manifestations communes aux tremblements de terre de Kõbe et de Haïti ? Quelle modification du sol observe-t-on après le séisme ? Schématise une faille rapidement avec un crayon. Combien de secousses compte-t-on ?

Lien: reportage d'un journal télévisé français 36 heures après le séisme. Les valeurs n'étaient pas encore confirmées.

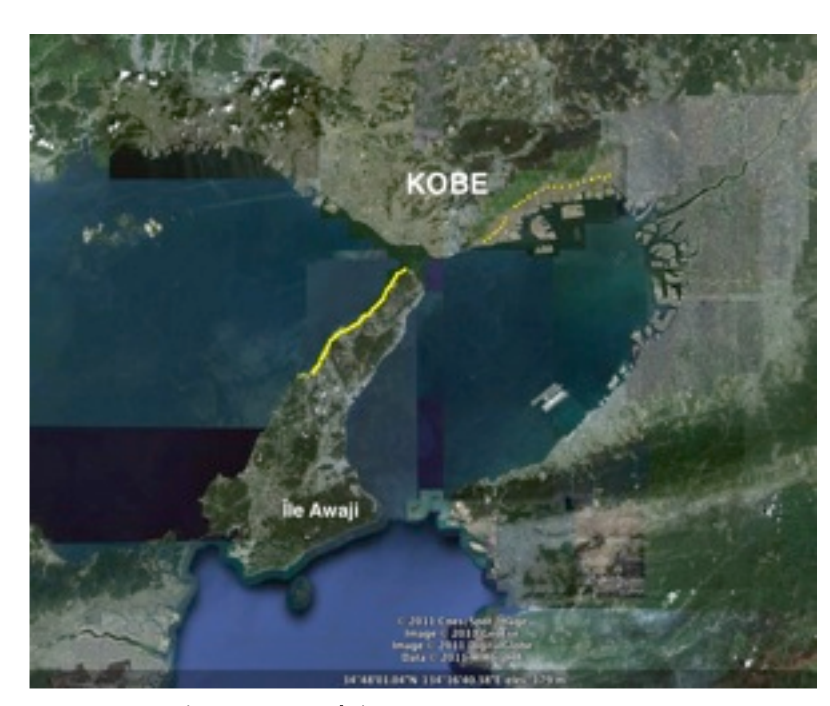


Image satellite de la région autour de Kõbe. *La ligne jaune (pointillée et pleine) souligne la présence d'une faille nommée Nojima. Elle est observable directement au sol sur l'île Awaji (trait plein). Photo google Earth - la base de la photo représente environ 120 km.*



Une partie de la ***Faille de Nojima*** *est visible en surface, dans un musée, sur l'ile Awaji. On voit ici le décalage des deux blocs de roche de part et d'autre de la faille, l'élévation du sol, de 50 cm, forme une «marche». La barre d'échelle représente 1 m . D'après Photo Wikimedia/ S. Midori*

La faille, indice d'un séisme.

On vient de voir qu'un séisme entraîne des modifications radicales du paysage. Malheureusement, il existe bien d'autres phénomènes naturels destructeurs, par exemple une explosion. Dès lors, comment faire pour reconnaître un séisme d'un autre sinistre? Autrement dit quelle est la signature d'un séisme ?

Pour répondre à cette question, il faut bien observer les conséquences d'un séisme et les confronter à celles d'un autre événement d'intensité globalement équivalente. On constate alors que la présence d'une cassure du sous-sol appelée **faille** est **systématiquement** et **exclusivement** présente lors d'un séisme. En revanche, d'autres critères sont souvent présents, quel que soit l'événement. Ainsi les dégâts importants, des blessés, des victimes, même un tremblement du sol ne sont pas du tout des marqueurs d'un séisme. On en conclut que **la faille seule représente une excellente signature des séismes**.

Les failles sont bien plus que de simples fissures du sol. En effet, leurs grandes dimensions dans le sens de la longueur en font des éléments majeurs dans le paysage même si elles n'affleurent pas forcement en surface. Imaginez une seule et même faille s'étalant sur plus de 20 km (*faille de El Asnam, en Algérie)* voire 1300 km comme le **groupement des failles** de San Andreas en Californie (à gauche, photo USGS). De la même manière, certaines failles plongent en profondeur sur des distances qui peuvent atteindre la dizaine de kilomètres. Imaginez donc leurs surfaces : 300 km^2 !

La deuxième particularité, après les dimensions, qui les différencie des fissures, est le **décalage** des blocs de roche de part et d'autre de la faille. On observe souvent une sorte de «*marche*» entre les bords de la faille. Ce décalage, bien que parfois modeste (de l'ordre du centimètre) peut atteindre plusieurs mètres (*voir la faille de Najima pour observer cette marche*). Il n'est pas toujours aisé de voir ce «rejet» en raison de l'**érosion**, qui peut le faire disparaître, mais parfois des indices nous renseignent : observer le décalage de lignes au sein même des blocs de roches ou encore l'écart entre deux couches de roches (*voir l'illustration ci-contre*).

Décidément, ces failles sont des **objets géologiques** bien particuliers parce que toujours associées aux séismes, mais aussi en raison de leur impact sur le paysage. «Donnez-moi une faille et je vous dirai s'il y a eu un séisme» pourrait bien résumer l'importance de ces **structures** en géologie.





***Petite faille dans la région PACA**. Noter le décalage des couches repère de part et d'autre de la cassure. Ce n'est donc pas une simple fissure, mais bien une faille, révélée par l'écart entre les couches. On en déduit aussi quelle est liée à un ancien séisme (la faille étant ancienne...). Photo C. Monier.*

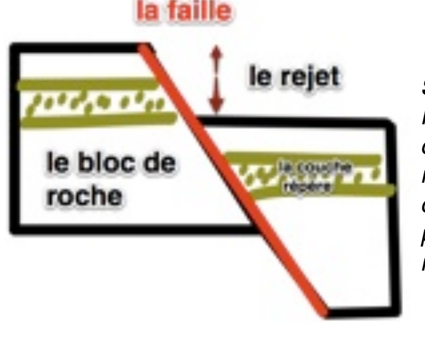


***Schéma d'une faille**. Notez la faille, qui décale les blocs de roche, et le rejet. Le décalage est souligné par l'écart de la couche repère. Schéma DS.*

Question d'élève: *Les séismes peuvent-ils être sans danger ?*
Bien sûr, c'est même le plus souvent le cas et cela pour deux raisons. La première est liée directement à leur importance (intensité). Les études montrent que les séismes violents sont exceptionnels. La deuxième raison, c'est qu'ils se localisent souvent en dehors des zones habitées. Tu peux vérifier par toi même ces deux explications en allant sur le site USGS. Et en observant la localisation des séismes sur le globe

Question d'élève: *pourquoi après un séisme il y en a d'autres, plus petits ?*
Il faut comprendre que les bords de la faille ne sont pas lisses. Bien au contraire, ils sont rugueux, les roches ne sont pas appliquées correctement les autres contre les autres. Du coup il en résulte des instabilités, des tensions qui s'apaisent lors de petits mouvements d'ajustement de la faille. Chacun d'eux créé un séisme.

À RETENIR: les séismes sont des tremblements de terre localisés, brefs et parfois destructeurs. Ils peuvent modifier les paysages par les dégâts occasionnés, mais aussi par la présence d'un élément géologique majeur : une faille.
Cette faille est reconnaissable, car elle décale les terrains qui la bordent.

L'origine des séismes à la surface du globe.

*Des **hypothèses** qui pourraient bien apporter des réponses.*



Comment expliquer les tremblements de la terre ? Dans la mythologie japonaise (ci-contre, Estampe du 17e siècle - aquablog), un poisson-chat («Namazu») géant porte sur son dos l'archipel japonais, chacun de ses mouvements déclenchant des séismes (ici, la divinité Kashima pose un rocher sacré sur le poisson afin de l'immobiliser et stopper ainsi les séismes.)

*De façon plus rationnelle, il semble que chacun d'entre nous ait son idée expliquant l'origine des séismes. Il devient donc intéressant de lire ces **propositions d'élèves** pour en savoir un peu plus sur ce que pensent les autres élèves.*

Hypothèse 1: *L'agitation des grandes villes déclenche-t-elle des tremblements de Terre ?*

Les constructions d'immeubles, de ponts et grands bâtiments apportent leurs lots d'agitation. En effet, nous pourrions penser que la concentration de matériaux, d'activités, de véhicules génère suffisamment de **contraintes**, appuient sur le sol pour créer des failles et provoquer des tremblements. **Pourtant si cela est vrai alors nous devrions constater que seules les villes subissent des séismes.** Or on observe, la plupart du temps, que les séismes se produisent dans des endroits isolés, loin de toutes constructions humaines. Nombreux sont ceux qui se produisent sous les océans, pouvant parfois provoquer la formation de vagues géantes dévastatrices, les tsunamis. Dès lors, nous ne pouvons retenir les activités humaines comme responsables des séismes : **cette hypothèse est donc fausse**.

Hypothèse 2: *La remontée de magma déclenche-t-elle des tremblements de Terre ?*

Les magmas logeant dans le globe (voir le chapitre Volcanisme pour en connaître leur origine) remonteraient à la faveur de fissures et cassures parce qu'ils sont plus légers que les roches qui les contiennent. Lors de ce trajet, ils exerceraient des pressions sur les roches en appuyant sur ces dernières et finalement elles céderaient. Il en résulterait failles et séismes visibles à la surface du sol. **Pourtant, si cela était vrai, alors nous devrions constater que des émissions de laves (et/ou les volcans) et les séismes devraient être associés.** Or on observe que si c'est parfois bien le cas, ce n'est pas une généralité: les séismes se produisent aussi dans des endroits éloignés de toutes activités volcaniques. Dès lors, nous ne pouvons retenir les remontées de magma comme uniques responsables des séismes: **cette hypothèse est donc incomplète**.

Hypothèse 3: Des *forces déclenchent-t-elles des tremblements de Terre.*

Le Globe contient des roches (voir chapitre 3). Or, ces dernières appuient les unes contre les autres, certaines appuyant plus fortement. Par conséquent, nous pourrions penser que cette organisation génère des **pressions**, des **forces** qui seraient capables de déclencher des séismes et des cassures. **Si cela est vrai alors nous devrions constater que des roches qui cassent, en raison de forces, déclenchent des séismes.** Comment observer dans la nature de tels phénomènes ? C'est impossible. D'une part parce que parfois les séismes sont si violents que rester sur place serait bien trop dangereux et d'autre part les forces sont invisibles. Pour tester cette hypothèse, il faut utiliser un **modèle**.



***Le séisme du 27 mars 1964**, qui a touché l'Alaska, a été l'un des plus puissants jamais enregistré. Vous voyez ici, loin de toute ville, le paysage forestier bouleversé par les mouvements du sol. Photo Wikimedia/NOAA.*



***Vue aérienne d'un paysage affecté par la faille de Denali (Canada)**: Remarquer que l'illustration ne montre aucune trace de sources de chaleurs pouvant trahir la présence de magma à proximité de la faille visible en noir, telles des fumerolles, geysers, laves...(source : USGS)*

Un modèle qui mime l'origine des séismes.

Comment vérifier cette hypothèse des forces générant des séismes puisqu'il semble impossible de la tester par l'observation sur le terrain ? Les scientifiques inventent et utilisent alors une sorte de ***maquette*** *capable de reproduire les séismes si on exerce des forces : ils parlent de* ***modèle****. Quel modèle simple peut-on utiliser pour savoir si des forces sont capables de générer des séismes ?*

Un bac à sable représentant la Terre et des mains les forces du globe...

Prenons le modèle du bac à sable *(illustrations ci-contre - d'après le Wikispace Rock Trauma Center)*. On peut réaliser une correspondance entre les éléments du modèle et ceux que l'on voit dans la nature. Ainsi, le sable représente la roche du globe, les différentes couches font allusion aux **strates** de roches superposées. La paroi mobile actionnée par un piston correspond aux **forces** qui seraient capables de déclencher les séismes.

Ainsi, notre modèle est fin prêt à fonctionner et notre raisonnement se formule ainsi : **s'il** est vrai que des forces sont capables de déclencher des séismes et que notre modèle est convenable **alors** je devrais observer les fameuses signatures des séismes : des failles.

Le modèle mimant des séismes.

Le fonctionnement du modèle repose sur **l'action de forces** qui, via le piston, comprime ou écarte les **strates** de sables. Les résultats montrent clairement ,la présence de nombreuses **failles découpant et décalant les couches de sables.** Or nous savons que failles et séismes sont intimement liés, même si ici on ne peut entendre les bruits ni voir des tremblements, parce trop faibles pour être facilement observables.

Le modèle est critiquable.

Il est vrai qu'en réalité les roches ne sont pas contenues dans une boîte en bois, qu'elles sont d'une rigidité que du sable aurait bien du mal à égaler. Que dire du piston qui les a comprimées ou étirées ? Il n'existe pas, dans le globe, pareil mécanisme pour comprimer les roches. Pourtant, le modèle montre bien la formation de grandes failles. Que conclure ?

Le modèle confirme en partie l'origine des séismes.

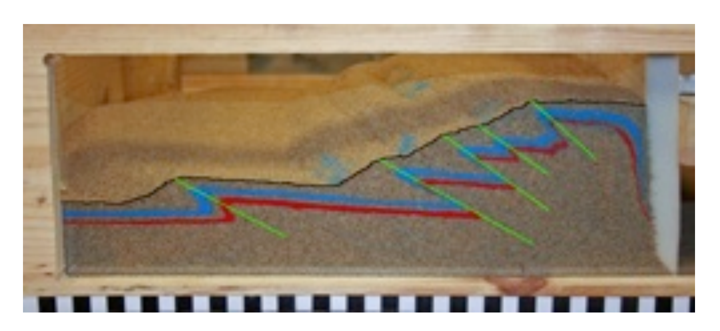
Il semble raisonnable de dire qu'en ayant conscience des points forts et des faiblesses de notre modèle (les critiques) il démontre tout de même que **les séismes résultent bel et bien de la fracture de roches, fractures dues à l'existence de forces dans le globe**. Gardons à l'esprit encore une fois que les mécanismes du modèle ne peuvent être vraiment ceux impliqués dans la réalité en raison des critiques citées précédemment.

Questions rapides: qu'est-ce qu'un modèle ? Quelles sont différences entre un modèle et une maquette ? Donne le principe du modèle utilisé pour mimer les séismes ? Quelles critiques peux-tu formuler sur ce modèle ? Explique en quoi le modèle proposé montre l'origine des séismes.

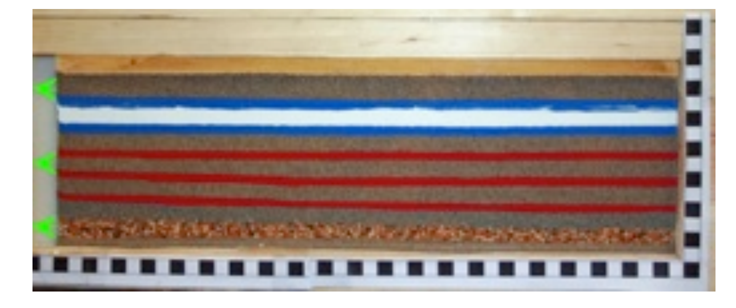
Lien : un autre modèle très critiquable mimant les séismes.

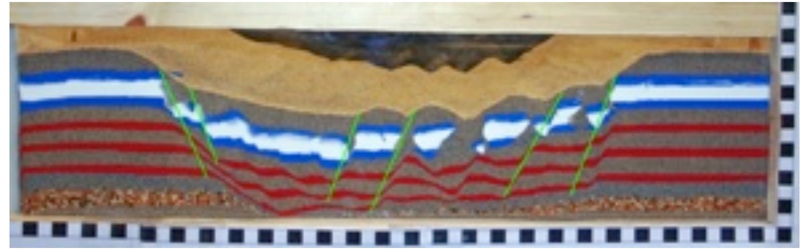


La «boite à sable» *qui représente le déclenchement des séismes. Les «roches» (sable) vont être comprimées par des forces (flèches vertes)*



La compression des «roches» du modèle *fait apparaitre des déformations du sol et du sous-sol accompagnées de failles (lignes vertes). Cela correspond à ce qui est observé dans la réalité.*





L'étirement des «roches» du modèle *fait aussi apparaitre des déformations du sol et du sous-sol ainsi que des failles (lignes vertes).*

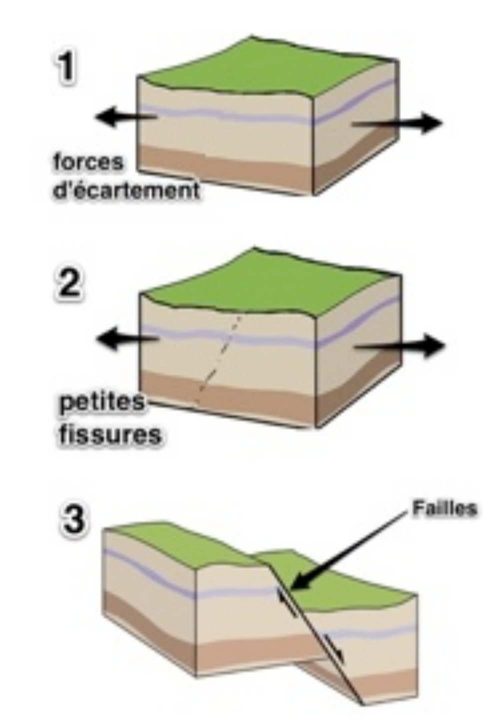
Les séismes sont la conséquence d’une rupture des roches en profondeur par des forces.

Le modèle montre que les séismes résultent de roches qui cassent brusquement. Mais comment peut-on décrire concrètement ce mécanisme quand il se déclenche dans notre terre, en dehors d’un laboratoire, et comment le définir avec plus de précision?

Des forces responsables de la faille.

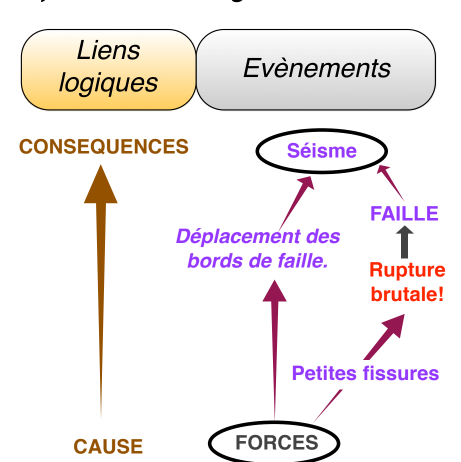
Pour comprendre le déclenchement d’un séisme, il faut, d’une part, changer de taille et observer la roche à une échelle bien plus petite que le millimètre et d’autre part il faut admettre aussi que les roches du sous-sol sont en permanence soumises à des forces (leur origine sera examinée aux chapitres 3 et 4).

On peut imaginer que les roches peuvent se tordre, se plisser. Mais imaginez que peu à peu, soumises à ces forces, de petites fissures naissent au coeur même de la masse rocheuse dure, la fragilisant au fur à mesure que le temps s’écoule. Soumises sans relâche à ces mêmes contraintes, les fissures s’étalent et s’agrandissent. On comprend dès lors que la roche ne pourra pas résister éternellement et il arrive un moment ou leur nombre est si grand que le bloc rocheux cède et casse **brutalement**. Les blocs de roches sont décalés violemment, déjetés à l’opposé le long d’une grande cassure : c’est la faille.



Formation d’une faille. *On peut remarquer que le procédé ressemble bien au modèle précédent. (inspiré de Wikipédia)*

La faille est à l’origine du séisme.



Nous comprenons à présent pourquoi la faille est la signature du séisme. En effet, elle est le séisme, c’est justement parce que la roche casse en formant une faille que le séisme nait. Il ne faut donc pas tomber dans l'écueil qui ferait de la faille une conséquence du séisme, un évènement qui viendrait après le tremblement. En somme, ce n’est pas parce que le sol tremble que les roches cassent. **C’est bien parce les forces compriment ou écartent les roches qu’elles cèdent en formant une faille. Tout se passe comme si le séisme était la conséquence de l’apparition d’une faille et elle est bien à l’origine du séisme** (schéma ci contre: ***lien entre faille et séismes***. *Remarquez que le séisme ne déclenche pas l’apparition d’une faille. Schéma RR d’après DS)*

Faille et séisme sont liés par la géométrie

Les **sismologues** nomment le **foyer** comme étant l’endroit, sur la faille, où s’est produite la rupture de la roche. Mais s’il échappe à l’oeil du géologue, parce qu’il se trouve justement en profondeur, il permet de définir l’**épicentre** du séisme. C’est le lieu, à la surface du sol, mais directement au dessus du foyer, à sa verticale, où les dégâts sont les plus importants. Ces deux mots permettent de définir avec bien plus de précision un séisme : «*cherche l’épicentre et tu localiseras la faille*».

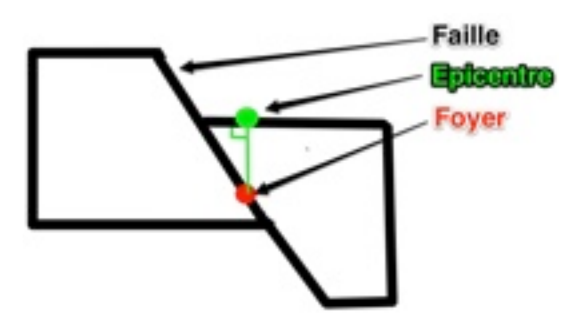


Schéma montrant le lien entre foyer et épicentre. *Remarquez que les dégâts les plus importants ne sont pas sur la faille, mais à la verticale du foyer. Schéma DS.*

Question d'élève: *Pourquoi les informations annoncent qu’une zone est encore dangereuse alors qu’une faille s’est déjà formée ?*

Il semblerait logique qu’une fois la faille présente, le sol ne devrait plus présenter de danger sismique. Pourtant, il n’en va pas ainsi: les forces du sous-sol continuent leurs actions de part et d’autre de la faille. Par conséquent, on peut observer à nouveau un déplacement brutal des blocs rocheux, et c’est un autre séisme qui se déclenche à nouveau. Les géologues parlent de réactivation de faille. Donc plus un sol est faillé et plus le risque sismique semble élevé.

À RETENIR: Les roches du sous-sol sont soumises en permanence à des forces. Ces roches résistent un temps, mais si les forces dépassent la résistance des roches, on observe leur rupture brutale: c’est la faille. Une faille existante peut encore bouger et déclencher de nouveaux séismes.

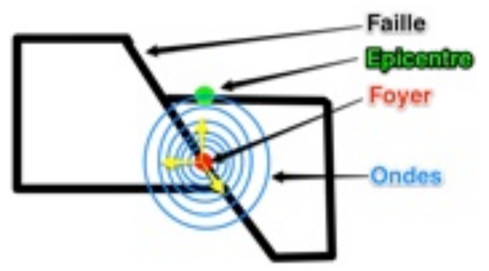
Les tremblements de la terre se propagent au-delà de la faille.

L'étude des séismes montre que la terre tremble bien au-delà de la zone faillée. Or, si on comprend bien pourquoi les dégâts sont localisés au niveau de la faille, puisque des blocs de roches sont décalés et que toute construction s'en trouve déstabilisée, comment comprendre que des destructions importantes puissent être observées loin de la faille ?

La répartition des dégâts d'un séisme renseigne sur le pourquoi des destructions éloignées de la faille.

L'étude des séismes peut revêtir parfois l'allure d'une enquête policière. Chercher l'épicentre d'un séisme ne peut pas se faire à partir du foyer puisqu'il est en sous-sol, donc caché. Ainsi, nous devons réaliser une enquête à partir de témoignages. Nous les confrontons à un document appelé **échelle de l'intensité des séismes**. Elle mesure la force des secousses en fonction des dégâts observés: plus ils sont importants et plus l'intensité est forte. Nous sommes alors capables, à partir de ces témoignages, de construire une carte montrant les zones qui ont été abîmées de la même façon par le séisme. Or cette répartition est étonnante: les zones de même intensité s'étalent **en cercles grossiers autour de l'épicentre** (*voir carte ci-contre*), un peu comme le feraient les vaguelettes qui s'éloignent d'un caillou tombé dans l'eau. Bien que la comparaison s'arrête là, parce que la Terre est solide, nous pouvons tout de même avancer qu'à l'instar des vaguelettes qui soulignent la présence de vibrations, **les zones de mêmes intensités sismiques signalent le passage d'une vibration dans le sol**. Les physiciens parlent d'**ondes de séismes**, où ondes sismiques. Comment expliquer leur apparition ?

Une onde est une vibration qui provoque le tremblement de la terre



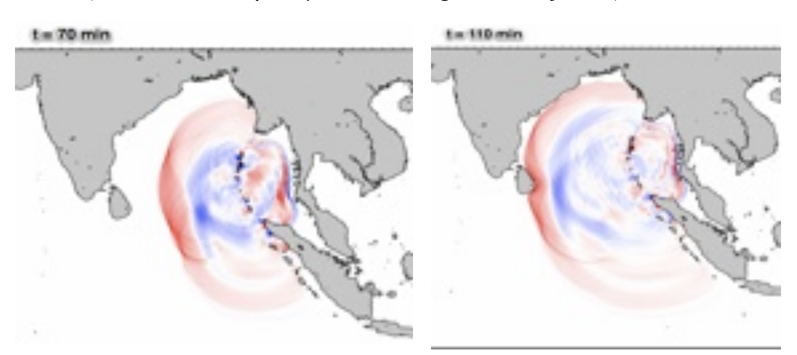
La rupture de la roche provoque une secousse qui se propage dans la roche sous la forme **d'ondes**. (*schéma à g.: **étapes logiques menant aux séismes**. Notez le déplacement dans les 3 directions des ondes sismiques dans le bloc rocheux - schéma DS).* La difficulté d'imaginer ces ondes vient de l'une de leurs propriétés: elles ne se voient pas quand elles se propagent dans l'épaisseur d'un matériau dur, comme de la roche, à l'inverse des liquides qui forment des vagues concentriques. Ce n'est pas parce qu'on ne les voit pas qu'elles n'existent pas: disposez des morceaux de sucre sur une table massive et bien calée sur ses pieds. Frappez fort du poing sur la table et les carrés de sucre tombent. L'intuition aidant vous comprenez que quelque *chose* se déplace, du poing vers les sucres, **dans** la table: c'est justement une onde. D'autre part, l'onde se déplace **dans toutes les directions:** vers le haut, le bas et les côtés à partir de la zone qui casse, c'est à dire **du foyer du séisme**. Cette propriété de l'onde explique pourquoi les effets des tremblements de terre sont ressentis sur de larges surfaces terrestres. Pour finir, **l'intensité de l'onde diminue avec sa distance de déplacement**: plus elle s'éloigne de sa source et moins elle est forte. C'est pourquoi les dommages des séismes s'atténuent quand on s'éloigne de l'épicentre.

Questions rapides :

Comment localise-t-on un épicentre d'un séisme ? Comment expliquer que les dégâts soient disposés en cercle autour de l'épicentre d'un séisme ? Comment définir simplement une onde ? Quelle astuce réaliser pour en voir une ? Donne la suite logique des évènements qui aboutissent à un tremblement du sol.



***Carte montrant la répartition de l'intensité du séisme du 12/01/2010 dans la région de Port-au-Prince**. Remarquez la forme concentrique que prennent les zones de même intensité. Les zones les moins touchées sont les plus éloignées de l'épicentre, noté par une étoile. (l'intensité est plus forte du rouge vers le jaune)*. Carte USAID.



***Le séisme du 26/12/2004,** sur les côtes de Thaïlande, a provoqué la formation de vagues géantes qui se déplacent comme les ondes sismiques, mais beaucoup moins vite. Leur parcours est ici reconstitué. Notez le déplacement de l'onde au cours du temps (40 min séparent ces deux vues) et sa propagation dans toutes les directions. Illustration d'après* [ENS]*.*

[Propagation des ondes sismiques] au cours d'un séisme en Chine.

Les ondes sismiques peuvent être enregistrées à l’aide d’un sismographe.

Les hommes, en quête de connaissance sur le monde, n’ont cessé de vouloir sonder les secousses de la Terre, leur objectif étant de mesurer avec précision à la fois les ondes si faibles qu’elles échappent aux sens des humains, mais aussi celles qui bouleversent les paysages à grande échelle. Le souci technologique principal était de conserver une trace fidèle de l’intensité du séisme alors que tout l’environnement bougeait suite aux passages successifs des ondes sismiques. ***Le passage des sismographes mécaniques aux dispositifs électroniques autorisa des mesures encore plus précises****.*

En l’an 132, le scientifique Chinois Zhang Heng inventa un appareil détectant la direction des mouvements du sol par la chute d’une bille percutée par un pendule contenu dans une vasque en bronze de près de deux mètres de diamètre (voir photo). Cet appareil, un «sismoscope», indiquait la présence et la direction d’une secousse, mais ne pouvait la mesurer, parce que la bille tombait de la même manière quelque soit l’intensité du séisme.

Depuis, physiciens et ingénieurs ont oeuvré pour traduire plus fidèlement les soubresauts de la terre et connaître plus fidèlement l’intensité de la secousse. **Le principe est toujours le même: les mouvements du sol, sur lequel repose l’appareil, sont transformés en un tracé écrit grâce à un stylo enregistreur qui tend à rester immobile grâce à une grosse masse qui amortit ses mouvements**.

Ces appareils, qui enregistrent les ondes sismiques, sont nommés **sismographes,** et leurs tracés des **sismogrammes** (voir schéma)**.** Leurs dimensions et masses très imposantes au départ s’expliquent par la volonté de ne mesurer que les mouvements du sol, la masse de l’objet atténuant les vibrations parasites de l’appareil après le passage des ondes. Ils pouvaient peser près de 19 tonnes. Les véritables progrès viennent au cours du XXe siècle, lorsqu’on introduit, dans le mécanisme de l’appareil, des dispositifs électrique puis électronique. Actuellement, ces appareils, de plus en plus petits et précis, transforment les mouvements du sol en phénomènes électriques que l’on visualise sur un écran.

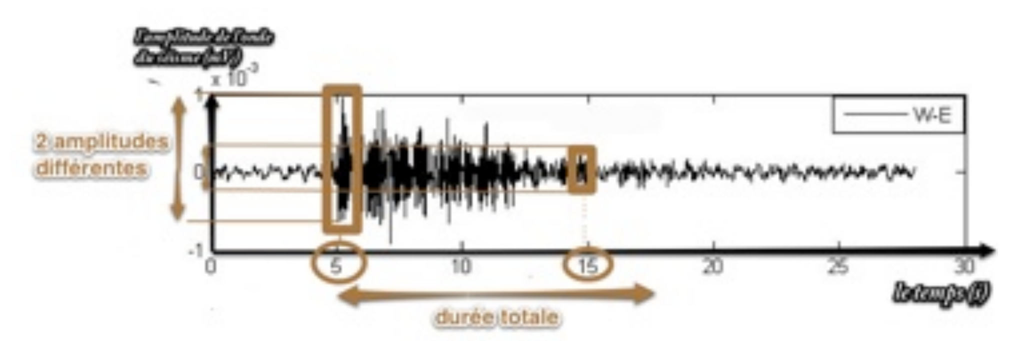
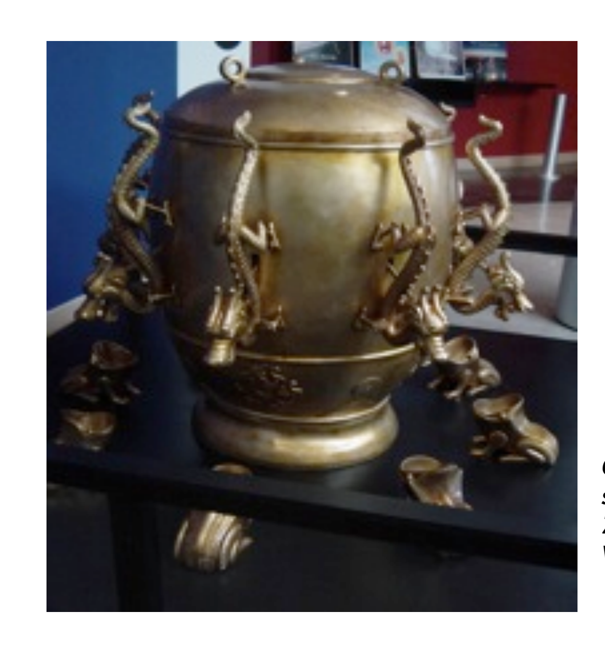
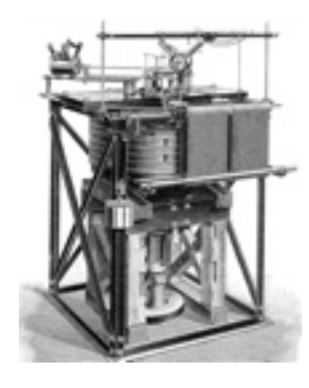


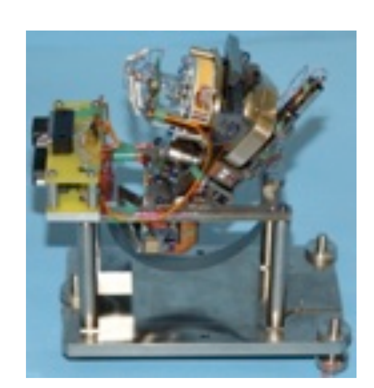
Schéma d’un sismogramme*. Notez la correspondance entre l’amplitude des ondes sismiques et l’intensité du séisme. Ici, on voit bien qu’un séisme est une succession d’ondes, car il y a une série de «pics». (source Wikipédia).*

Le sismogramme (ci-dessus) apporte des informations précieuses sur un séisme. Non seulement on en mesure la durée, mais on peut connaître aussi son intensité: plus le tracé affiche une déviation importante (amplitude) plus l’onde est puissante, et donc plus le séisme est violent, et réciproquement.



Copie moderne du sismo»scope» de Zhan Heng. *Photo Wikimedia/ Shizhao*

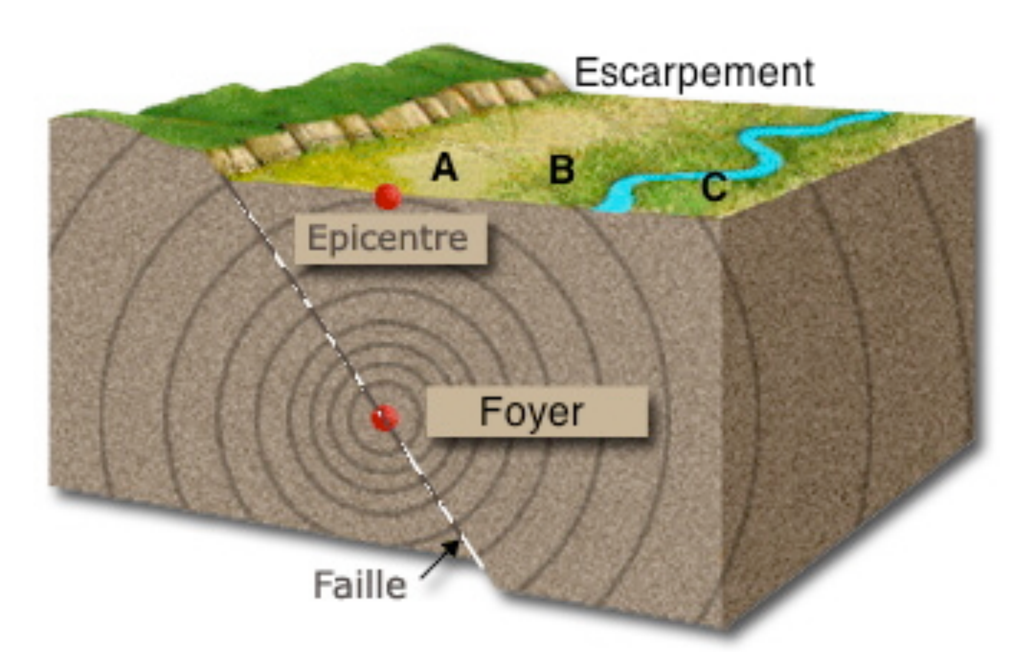


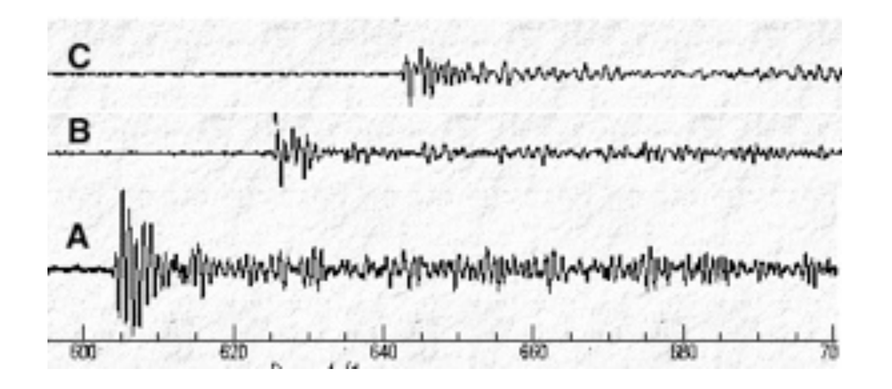


Évolution au cours des âges d’un l’objet technologique : le sismographe. *Notez que le sismographe transforme toujours le mouvement du sol en un autre signal : la chute d’une bille, le mouvement d’un stylo (ci-dessus, à gauche, modèle de 1914) et actuellement en une variation d’un courant électrique actuel. Le sismographe de droite a été déposé sur Mars afin d’étudier l’intérieur de cette planète, et a une masse d’à peine 1 Kg. Photos Wikimedia et CNES.*

Liens: fabriquer son propre sismographe.

Observer le fonctionnement d’un sismographe virtuel





Liens entre les ondes sismiques et l'intensité d'un séisme. *Les ondes sismiques se propagent à partir du foyer, situé sur la faille. Les sismogrammes ci-dessus montrent l'arrivée des ondes en A, puis, un peu plus tard, en B (leur intensité à diminué) puis en C, plus tard encore, avec une intensité plus faible. Schéma RR d'après DS/ Wikimedia/ Lorangeo.*

À RETENIR:
Les roches du sous-sol sont soumises en permanence à des forces. Les roches résistent, mais si les forces dépassent leur résistance, elles cassent, et une faille se forme et la roche se déplace, ou bien la roche se déplace sur une ancienne faille. Cette cassure et ce déplacement, partant d'un foyer, créent des ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions et font trembler la surface lorsqu'elles l'atteignent (le point de la surface le plus proche du foyer est l'épicentre). Ces ondes sont enregistrées par des sismographes.

Question d'élève: Peut-on prendre notre voiture pour fuir les ondes des séismes ?

À vrai dire non ! Ce n'est pas possible. La vitesse des ondes sismiques dépend entre autre de la composition du matériau dans lequel elles se propagent. Ainsi, dans l'air elles circulent à 1200 km.h^{-1}, dans l'eau de mer elles atteignent 5400 km.h^{-1} et dans un solide, comme une roche (granite), elles fusent à 18 000 km.h^{-1}. Ainsi, plus le matériel est compact et plus les ondes vont vite. Mais dans tous les cas les vitesses de leur déplacement sont trop importantes pour que l'on puisse les fuir.

Liens: Le tremblement de Terre de San Francisco en 1989: images et témoignages
Illustration du mouvement d'une faille.
11 Mars 2011: un des plus puissants séismes jamais observés provoque la formation d'un tsunami qui déferle sur la cotre est du Japon. Chronologie (en français canadien)

Les modèles en sciences

En sciences, un modèle est une description simplifiée d'un phénomène. Ce modèle peut être théorique (sous forme de calculs) ou pratique (utilisant des machines, simples ou complexes), ou même parfois mélanger un peu les deux. Une particularité d'un modèle est que l'on peut agir dessus, réaliser des expériences avec lui pour en tester la validité (décrit-il bien ce que l'on observe ? Permet-il de faire des prévisions ?) et les limites (pour jouer au foot, on peut considérer que la Terre est plate, mais pour tracer des cartes de géographie, on doit bien changer de modèle et prendre en compte sa forme sphérique...).

Exemple: Le Pr Cooke-Andresen réalise un modèle de la faille de San Andreas: voyez comment, avec son étudiante, elle reproduit la géométrie de la faille (avec une planche de même forme), «modélise» les roches par de l'argile, et accélère leur déplacement, afin de prévoir les régions qui, fortement déformées, sont celles où de nouvelles failles, et donc des séismes, peuvent se former.

QUESTIONS DE COURS

1/que se passe-t-il lors d'un séisme ?
2/quel est le point commun, observable quand il affleure, entre tous les séismes ?
3/qu'est-qu'une faille ? Schématise-la.
4/définis ce qu'est l'épicentre et le foyer d'un séisme. Localise-les sur un schéma que tu réaliseras.
5/Qu'est-ce qu'une onde ?
6/ quel est le nom de l'appareil qui mesure les ondes sismiques ?

COLLES

1/Lors d'un séisme, les témoins signalent que les tremblements sont ressentis au nord, au sud, à l'ouest et à l'est. Comment l'expliquer ?

2/Un élève discute des conséquences des séismes. Dans la conversation vous relevez la phrase suivante «*....et ça tremblement tellement fort que la terre se casse en deux.....si si et même que le prof nous a dit que c'était une faille*». Quelle critique pouvez-vous formuler concernant cette idée.

3/ Réalisez un tableau à double entrée qui prenne en compte les effets des séismes intenses dans les villes et en dehors. Vous tiendrez compte de l'origine des séismes et des conséquences qui lui sont associées.

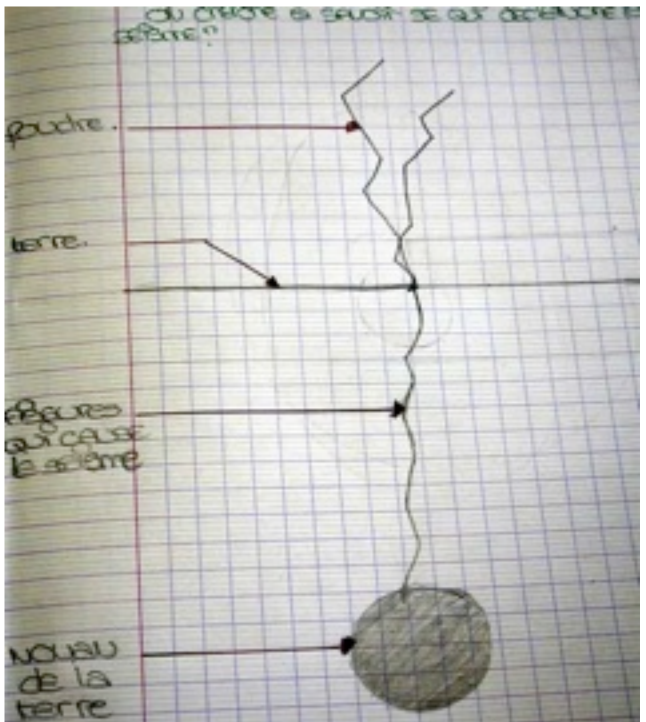
Questionnaire à Choix multiples

Coche les bonnes réponses en te justifiant oralement.

- les séismes sont des tremblements de terre qui s'expliquent par une remontée de magma vers la surface.
- une faille est une grande cassure qui décale des blocs de roches.
- Les failles ont pour origine le tremblement occasionné par le séisme.
- Une faille comme une fissure déclenche des séismes.
- Le foyer d'un séisme est en surface en plein milieu de la faille qui affleure
- L'épicentre est sur la faille en profondeur.
- Le foyer est la zone de roche, sur la faille, qui casse en dernier.
- La faille est une conséquence du séisme.
- La faille est à l'origine des ondes sismiques.
- Les ondes sismiques sont à l'origine des tremblements de la terre.
- Les séismes sont dus à des forces dans le globe qui cassent les roches.
- Les forces du globe sont à l'origine des failles.
- une maquette permet de comprendre le fonctionnement des séismes.
- un sismographe permet de mesurer l'intensité des séismes.

EXERCICES

1 - Une nouvelle hypothèse sur l'origine des séismes (4 pts)



Une classe de quatrième cherche l'origine des séismes à la surface de la Terre. Ils travaillent donc sur des idées qui expliqueraient sur déclenchement : des hypothèses.

Voici ci-contre la réponse d'un élève de la classe.

11- proposez deux critiques positives ou négatives sur l'hypothèse de cet élève .

12 - proposez une explication sur l'origine réelle des séismes.

2 - Étude d'une modification du paysage après un séisme ancien. (6 pts)



Voici ci-contre un affleurement qui montre une paroi rocheuse dans une région touchée par un séisme. (Photo MC Rygel/ Wikimedia)

21- Relevez dans l'illustration ci-dessus l'indice qui permet d'expliquer l'origine du séisme ?
22 - Réalisez un schéma qui explique comment ce genre «d'indice» a pu se former.

3 - Étude d'une faille (5 pts)

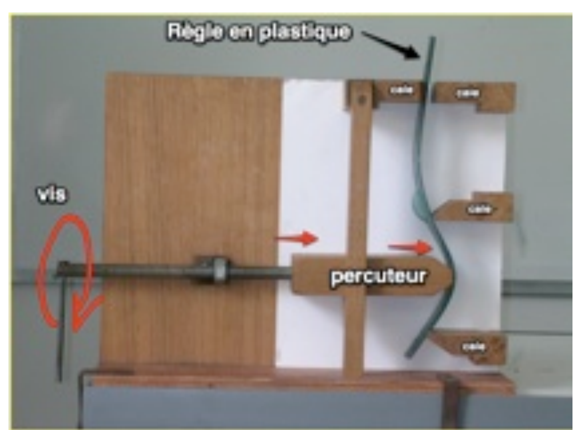


L'illustration ci-dessus présente une faille (Photo [Wikimedia/mikenorton]).
Schématisez, titrez et légendez la photo ci-dessus.

4 - Étude d'un modèle qui explique les séismes (10 pts)

Les élèves d'une classe cherchent à comprendre comment se déclenche un séisme. Ils formulent, d'un commun accord, l'hypothèse que des forces dans le globe sont capables de déclencher des séismes.

Pour savoir si un tel phénomène est possible, ils réalisent avec leur professeur le modèle ci-dessous (photo d'après académie de Dijon / animation flash).

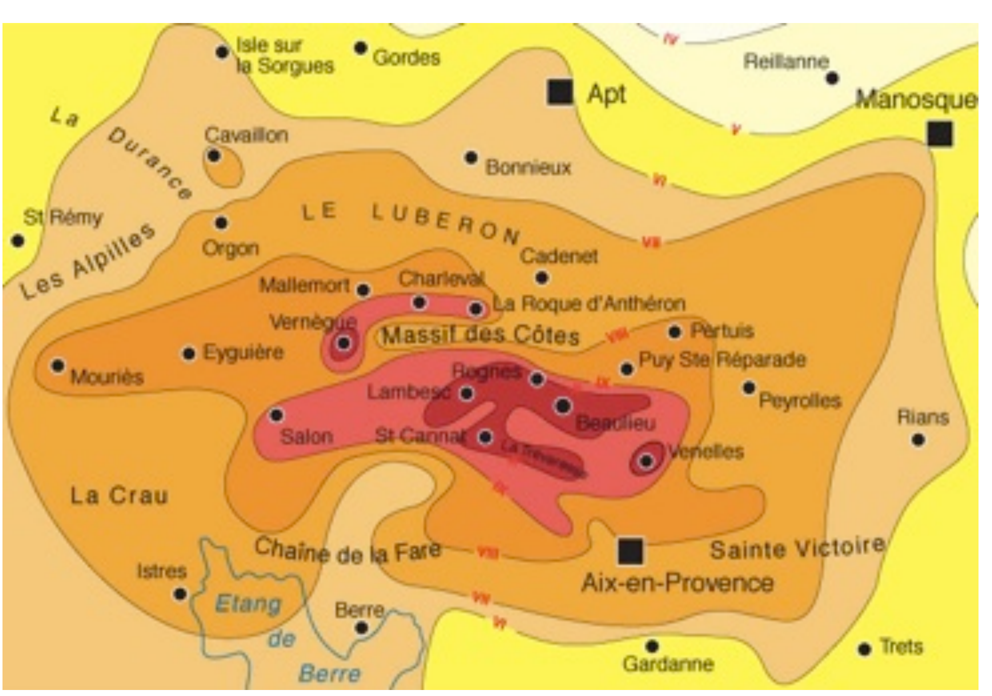


41 - Indiquez quel est l'intérêt de passer par un modèle pour comprendre le fonctionnement des séismes.

42- réalisez un tableau qui montre ce que mime la règle, le couple vis/percuteur.

43 - quand le modèle fonctionne, on observe que la règle casse et le bruit de cette rupture.
Proposez 2 critiques en faveur de ce modèle et 2 négatives.

5 - Étude d'un séisme en France



Il y a un peu plus de 100 ans, en 1909, la région des Bouches-du-Rhône fût secouée par un séisme de forte intensité. On déplora 46 morts, 250 blessés et des milliers de bâtiments endommagés ou détruits.
Le document ci-dessous vous montre les zones qui ont été secouées avec la même intensité sismique. (source site ENS)

51- Indiquez, en relevant les informations dans la carte, l'intensité du séisme ressentie dans les villes suivantes : *Manosque, Istres, Lambesc, Aix-en-Provence, Salon*. Répondre sous la forme d'un tableau que vous construirez.

52 - En déduire, en vous justifiant, la localisation de l'épicentre de ce séisme.

Des centres d'études de géologie réalisent des travaux complémentaires et construisent cette carte de la région:

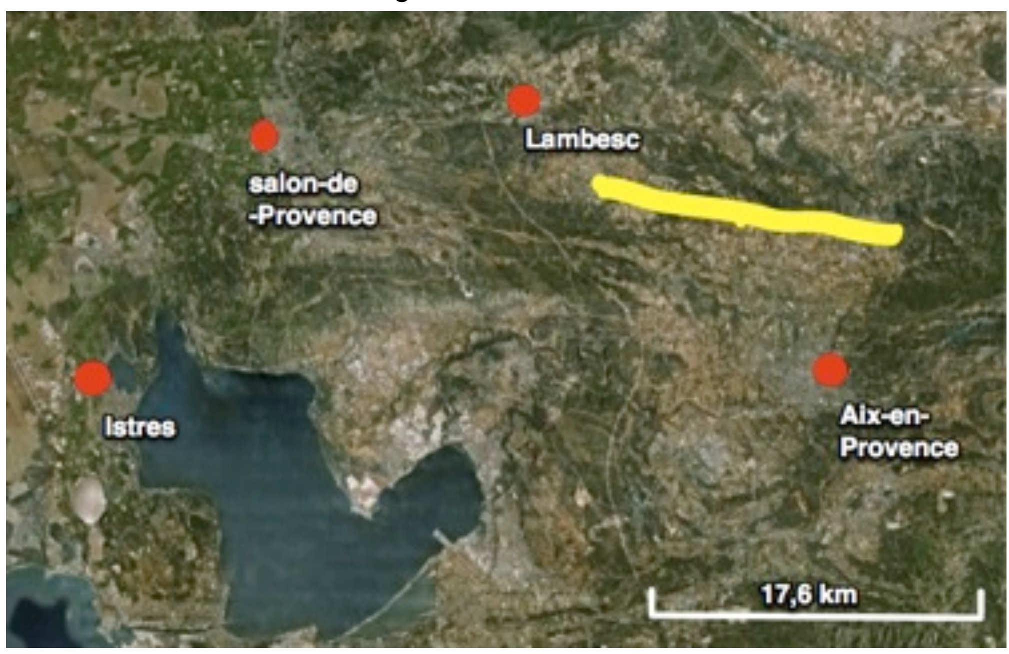


Image satellite de la région de Lambesc*. Une faille est surlignée en jaune. Schéma DS d'après Google Earth.*

53 - Indiquez le lien existant entre le séisme et la faille signalée sur la carte

54 - Proposez, en vous justifiant, une explication qui permet de comprendre pourquoi la ville d'Istres ait pu ressentir des secousses alors qu'elle se trouve loin de l'épicentre. Réaliser un schéma est obligatoire.

55 - Les ondes sont invisibles. Imaginez donc une petite manipulation qui permet de les voir.

CORRECTIONS

Questions de cours :

1- L'étude du séisme de Haïti, mais aussi celui de Kobé, montre les événements suivants :

- un bruit plus ou moins important
- des secousses du sol
- des modifications qui peuvent être importantes du paysage telles que des fissures dans le sol et les bâtiments, mais aussi parfois la présence d'une grande cassure nommée faille
- des dégâts de bâtiments et des victimes humaines si le séisme se produit dans une ville.

2 - Cachée dans le sous-sol lors du séisme Haïti, et affleurante dans l'exemple du tremblement de terre de Kobé: c'est la faille.

3 - Une faille est une cassure des roches du sous-sol qui a la particularité de décaler les blocs de roche. Ses dimensions importantes, ainsi que ce décalage, la distingue de la fissure. Schéma d'une faille: voir page 11.

4 - La zone de rupture de la roche située sur la faille en profondeur du sol est appelée foyer du séisme. Directement au-dessus du foyer, à sa verticale et à la surface du sol, les dégâts sont très importants : c'est l'épicentre du séisme. Schéma montrant l'épicentre et le foyer du séisme.

5 - Une onde peut être définie simplement par un mouvement qui se déplace dans un milieu donné.

6 - Les ondes sismiques peuvent être enregistrées et visualisées grâce à un appareil appelé sismographe.

Colles :

1- Les témoins situés tout autour du foyer ont ressenti des vibrations liées au séisme. Tout cela est possible parce que des ondes sismiques naissent du foyer et se propagent dans le sol dans toutes les directions de l'espace. Ce sont elles qui sont responsables des vibrations.

2 - L'élève qui prononça cette phrase n'a pas bien compris l'origine d'un séisme ainsi que ses conséquences. En effet les tremblements du sol ne sont pas responsables de la création d'une faille. C'est l'inverse qui se produit: la faille engendre les tremblements.

3 - Tableau montrant l'origine et les effets des séismes intenses dans deux environnements différents:

Environnement	Origine du séisme	conséquences
urbain	Faille	Destruction des bâtiments, effondrement, ruptures des canalisations d'eau et de gaz, dégâts causés aux voies de communication, nombreuses victimes. Paysage très fortement modifié.
rural	Faille	Chute de branches, arbres fragiles déracinés, éboulements éventuels. Pas ou peu de grandes modifications du paysage.

Questionnaires à choix multiples :

Affirmations fausses: 1, 3, 4, 5, 6, 8

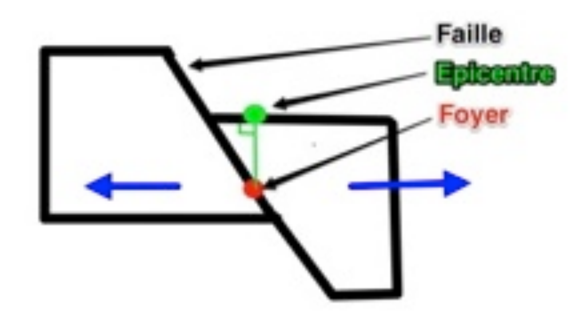
2 - Exact ! Les failles desquels les blocs de terrain parce que ce sont d'importantes cassures des roches du sol.
7 - C'est vrai ! Il s'agit d'un point inaccessible parce qu'en profondeur qui représente le lieu où la roche a cédé aux forces.
9 - Lorsque la roche casse, la faille apparaît. Cette cassure engendre les ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions de l'espace à partir du foyer du séisme.
10 - Par définition, une onde est un mouvement qui se déplace dans le sol. Lors d'un séisme il n'y a pas qu'un mouvement, mais plusieurs. Ce sont ces trains de mouvement que l'on ressent lors du séisme: ce sont les vibrations de la terre qui sont ressenties lors du séisme.
11 - Le modèle utilisé dans le cours démontre que des forces sont capables d'engendrer des cassures de roche sous forme de failles lorsqu'elles sont bien plus importantes que la résistance de la roche. Il est donc vrai que les forces du globe sont à l'origine des séismes.
12 - Une maquette ne peut en aucun cas faire comprendre l'origine des séismes parce que, par définition, une maquette ne représente que l'aspect généralement externe de l'objet sans s'intéresser aux mécanismes. Les scientifiques utilisent donc des modèles simples pour comprendre comment se déroule un phénomène.
13 - Le sismographe est effectivement un appareil qui permet de recueillir, visualiser et mesurer les ondes sismiques. Les ondes sont représentées par des ondulations sur les écrans. Plus elles sont accentuées et plus le séisme a une intensité importante en un lieu donné. La «hauteur» de l'onde est appelée amplitude.

EXERCICES :

1 - Une nouvelle hypothèse sur l'origine des séismes (4 pts)
11 - L'élève pense que les séismes sont déclenchés par la foudre qui tombe sur les roches. Si tel était le cas, on devrait observer des séismes lors des orages avec éclairs puisque ces derniers seraient responsables des tremblements. Or, nous avons tous observé des orages et nous avons pu constater qu'il n'y avait pas de tremblements lorsque les éclairs apparaissaient.
Réciproquement, si l'hypothèse est vraie nous devrions observer sur les films de séisme ou des photos de séisme la présence d'orage avec éclairs. Or, ce n'est pas le cas, les séismes sont indépendants de la météo. L'hypothèse de cet élève ne peut être retenue comme valable : les séismes n'ont pas pour origine les éclairs.

12 - Nous avons vu que des forces sont capables de casser des roches et d'engendrer des failles. Ceci possible lorsque ces forces sont supérieures à la résistance des roches. L'apparition de cette faille induit la création d'ondes sismiques qui se déplacent dans toutes les directions d'espace. Une onde est un mouvement qui se déplace. Elle est responsable du tremblement de terre.

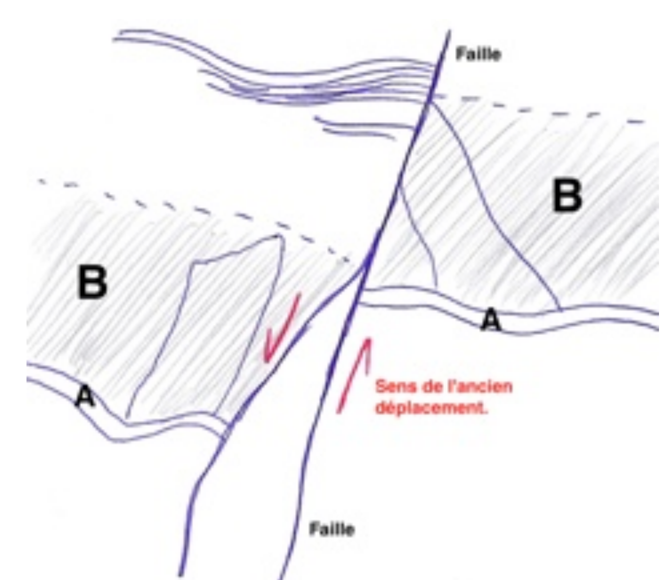
2 - Étude d'une modification du paysage après un séisme ancien. (6 pts)
21- Sur cette photo, nous pouvons clairement apercevoir un décalage dans les couches repères du flanc de la montagne selon une ligne directrice oblique (voir schéma ci-dessous). Cette ligne souligne la faille dans la roche. Or nous savons que la présence des failles est liée à celle des séismes.



22 - Les failles résultent de la cassure des roches du sol par des forces très importantes et bien supérieures à la résistance des roches. Ainsi, le schéma (*titre: formation d'une faille*) doit permettre de visualiser ces fameuses forces. Dans l'exemple ci contre, les forces agissant sur la roche sont représentées par des flèches bleues.

3 - Étude d'une faille (5 pts)

Décalage de roches de part et d'autre d'une faille.



Sur ce schéma, on a représenté, de part et d'autre de la faille, en forme de «Y» inversé, le décalage des couches de roches. La fine strate blanche, A, est ainsi décalée, tout comme la couche B, qui la surplombe, et contient de grandes pierres plates.

Les flèches rouges indiquent, d'après la position de ces strates, quel a été le sens de déplacement des roches de part et d'autre de cette faille dans le passé. *Schéma RR.*

4- Étude d'un modèle qui explique les séismes.

41- Il est impossible de se rendre sur un séisme pour en étudier le fonctionnement parce que l'on ne peut pas prévoir le jour de son déclenchement, et il s'agit d'un phénomène naturel très dangereux. Ainsi, les scientifiques utilisent des modèles pour comprendre leur fonctionnement. Les modèles permettent de maîtriser tous les aspects du phénomène étudié. Dès lors, le scientifique peut décider de faire varier qu'un seul aspect: la résistance de la règle en plastique, la puissance du percuteur, la vitesse de percussions...

42 - Tableau montrant ce que miment les éléments du modèle:

Eléments du modèle	règle	vis et percuteur
Dans la réalité	roches	forces exercées sur la roche

43 - Ce modèle est intéressant parce qu'il montre convenablement l'origine des séismes. En effet, si la force, mimée par l'avancée du percuteur, est supérieure à la résistance de la règle, alors elle casse (ce qui mime le séisme).

Le deuxième point positif de ce modèle est le bruit que l'on peut entendre lors de la rupture de la règle. Un bruit analogue accompagne le tremblement de terre. Ce son est lié à la rupture des roches.

En revanche, nous pouvons proposer deux critiques au modèle présenté.

La première concerne le percuteur. En réalité il n'en existe pas de tel dans les roches du sol. Le percuteur mime des forces qui sont invisibles dans la réalité, mais qui existent bel et bien. Toutefois, ces forces ne se concentrent pas en un point, comme dans le cas du percuteur, mais sur une région plus vaste.

L'autre point négatif est le matériel utilisé. Dans la réalité les roches ne sont pas en plastique, et donc peuvent réagir et se comporter différemment.

5 - Étude d'un séisme en France

51- Intensité du séisme ressentie dans les villes :

Ville	Manosque	Istres	Lambesc	Aix-en-Provence	Salon
Intensité	VI	VII	X	VIII	IX

52 - Localisation de l'épicentre de ce séisme.
Comme c'est à l'épicentre du séisme que l'intensité dus séisme est la plus grande, l'épicentre se situe dans la zone rouge de la carte. Pour être plus précis, on doit se souvenir que les ondes sismiques semblent être, en surface, centrées sur l'épicentre, projection en surface du foyer. On peut placer grossièrement ce point «central» au milieu d'un segment de droite joignant Lambesc et Beaulieu.

53 - La faille signalée sur la carte ne se trouve qu'à quelques km au sud-est de l'épicentre du séisme (donc, en profondeur, de son foyer). ON peut donc supposer que ce sont les forces s'exerçants sur cette faille qui sont à l'origine de ce séisme. Peut être cette faille à t'elle «glissée» au cours de celui ci.

54 - La ville d'Istres a pu ressentir des secousses alors qu'elle se trouve loin de l'épicentre car les ondes sismiques se propagent dans toutes les directions à aprtir du foyer. Elles voyagent dans les roches et ont donc pu atteindre Istres quelques instants après Lambesc. Toutefois, ayant parcouru un plus long chemin, elles y ont été moins intenses.

Schéma: similaire à celui de la page 17, avec en A, Lambesc, et Istres au point C.

55 - Pour rendre une onde visible, il suffit de percuter doucement la surface d'une petite étendue d'eau calme: il se forme des ondes qui s'éloignent progressivement du point d'impact. En déformant la surface de l'eau en cercles concentriques, ces ondes deviennent en parti visibles.

Glossaire

Palais national d'Haïti, fortement endommagé par le séisme du 12/01/2010. Photo Wikimedia/ UNDP.

Les définitions des termes techniques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. N'est donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Aérodrome: c'est un terrain qui permet le décollage et atterrissage des avions.
Affleurer : se dit de quelque chose qui arrive à la surface du sol et que l'on peut voir.
Ambassade: c'est un bâtiment officiel qui héberge des personnes qui représentent un pays à la place du président.
Amplitude: c'est l'écart entre deux points les plus séparés.

Cause: c'est une relation logique qui accorde à un évènement son origine, son déclenchement.
Centres d'études géologiques: bâtiment qui regroupe des personnes qui étudient le fonctionnement de la terre
CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique
Conséquence: c'est une relation logique qui positionne un évènement comme étant le résultat d'un autre évènement
Contrainte: force appliquée de façon continue sur une certaine surface ou dans un certain volume de roche.
Critique: c'est une idée, positive ou négative, sur une autre idée.

Démarche scientifique: c'est une suite logique d'étapes de recherche qui amène à une conclusion sur un fait que l'on observe dans le monde.
Divinité : se dit d'une personne qui a le statut d'un Dieu.

Épicentre : lieu qui a subi les plus gros dommages lors d'un séisme.
Érosion : mécanisme impliquant l'eau, le vent, la glace et qui enlève les grains des roches, qui les use.
Estampe: image réalisée sur du papier à partir dune gravure sur bois.
Exclusivement: uniquement par ce moyen

Faille: c'est une cassure de grande étendue qui décale les roches en deux blocs après l'action de forces dans la terre.
Fissure: cassure de petite taille et qui ne décale pas les roches, une petite fente.

Force: c'est ce qui permet de modifier un objet, de le faire bouger ou de modifier son mouvement.
Foyer: point qui représente l'endroit, sur la faille, qui a cassé en premier sous l'action des forces de la terre.
Fumerolle: petit trou dans un sol proche d'un volcan d'où sortent des gaz et des fumées.

Géologie : c'est une matière scientifique qui étudie le globe terrestre.
Geyser: trou dans un sol proche d'un volcan d'où sortent, de temps en temps, de l'eau chaude et de la vapeur.

Hypothèse : se dit d'une idée supposée vraie jusqu'à ce que l'on démontre qu'elle est fausse par une démarche scientifique.

Intensité: se dit de la violence d'un phénomène. Pour les séismes elle dépend du lieu où l'on se trouve.

Lame: vague.

Maquette : objet en miniature qui représente fidèlement un objet
Marqueur: trace observable d'un phénomène.
Mimer: imiter.
Modèle: en sciences, se dit d'un objet qui tente de reproduire un phénomène en vue de l'expliquer et de pouvoir le prévoir.
Mythe: histoire légendaire.

Ondes: une vibration qui se déplace dans les solides, les liquides ou les gaz.
Origine: c'est le point de départ d'un évènement.

Piston: dispositif mécanique qui transmet une pression.
Pression: force appliquée sur une surface d'un objet.

Rationellement: en utilisant sa raison, son intelligence.
Région PACA: région de Provence Alpe Côte d'Azur.
Rejet: c'est la marche réalisée par le décalage de deux blocs de roches faillés.
Réseau: ensemble dont les éléments sont liés entre eux.
Rural: qui se rapporte à la campagne.

Schématiser: réaliser une représentation simple de ce que l'on voit en ciblant le fonctionnement.
Séismes : tremblement de terre ayant pour origine une faille.
Sismogramme: tracé réalisé par un sismographe.
Sismographe: appareil qui mesure l'intensité des ondes d'un séisme.
Systématiquement: de manière constante et régulière, en envisageant toutes les possibilités.

Strates : couches de roches superposées.
Virtuel: que l'on ne peut pas toucher.

Autour des séismes...

La destruction de Lisbonne par un séisme le 1/11/1755 inspira de nombreux artistes. Détail d'une gravure d'époque.

Idées de voyage

Si l'envie vous prend de «faire l'expérience» involontaire d'un séisme (la plupart sont de faible intensité), voici deux régions du monde, culturellement passionnantes, où ces derniers sont très fréquents:

- La Californie (côte ouest des USA)
- Le Japon

Idées de lecture

Sans surprise, les auteurs japonais sont à l'honneur:

- **Après le tremblement de terre**, d' Haruki Murakami
- **Le Grand Tremblement de terre du Kantô**, d'Akira Yoshimura et Sophie Rèfle.

Idées de films

La plupart des films mettant en scène un tremblement de terre sont assez peu convaincants pour les spécialistes, voire franchement fantaisistes! Les producteurs ne se fatiguent pas à trouver des titres originaux. Citons:

- Tremblement de Terre, de M. Robson, 1974
- Séisme, de L. Elikann, 1990
- Tremblement de Terre, de T. Takacs, 2004
- Aftershock, un même titre pour deux «oeuvres»: un film chinois de F. Xiaogang, 2010; et un téléfilm sous-titré «tremblement de Terre à New York», produit en 1999 par USA network.

Un témoignage.

De 1831 à 1836, le jeune Charles Darwin, qui deviendra un des plus grands biologiste de tous les temps, accomplit un tour du monde à bord du navire «le Beagle». En Amérique du Sud, il fait pour la première fois l'expérience d'un séisme:

20 février. — Jour mémorable dans les annales de Valdivia, car on a ressenti aujourd'hui le plus violent tremblement de terre qui de mémoire d'homme se soit produit ici. Je me trouvais sur la côte, et je m'étais couché à l'ombre dans le bois pour me reposer un peu. Le tremblement de terre commença soudainement et dura deux minutes. Mais le temps nous parut beaucoup plus long, à mon compagnon et à moi. Le tremblement du sol était très-sensible. Les ondulations nous parurent venir de l'est ; d'autres personnes soutinrent qu'elles venaient du sud-ouest ; ceci prouve combien il est parfois difficile de déterminer la direction des vibrations. On n'éprouvait aucune difficulté à se tenir debout ; mais le mouvement me donna presque le mal de mer : il ressemblait en effet beaucoup au mouvement d'un vaisseau au milieu de lames fort courtes, ou, mieux encore, on aurait dit patiner sur de la glace trop faible qui ploie sous le poids du corps.

Un tremblement de terre bouleverse en un instant les idées les plus arrêtées ; la terre, l'emblème même de la solidité, a tremblé sous nos pieds comme une croûte fort mince placée sur un fluide ; un espace d'une seconde a suffi pour éveiller dans l'esprit un étrange sentiment d'insécurité que des heures de réflexion n'auraient pu produire. Le vent, au moment du choc, agitait les arbres de la forêt ; aussi je ne fis que sentir la terre trembler sous mes pieds sans observer aucun autre effet. Le capitaine Fitz-Roy et quelques officiers se trouvaient alors dans la ville ; là l'effet fut beaucoup plus frappant, car, bien que les maisons construites en bois n'aient pas été renversées, elles n'en furent pas moins violemment ébranlées. Tous les habitants, saisis d'une folle terreur, se précipitèrent dans les rues. Ce sont ces spectacles qui créent chez tous ceux qui ont vu aussi bien que ressenti leurs effets cette indicible horreur des tremblements de terre. Dans la forêt, le phénomène est fort intéressant, mais il ne cause aucune terreur.

Charles Darwin — Voyage d'un naturaliste autour du monde - 1845.

Le volcanisme,

arrivée en surface du magma.



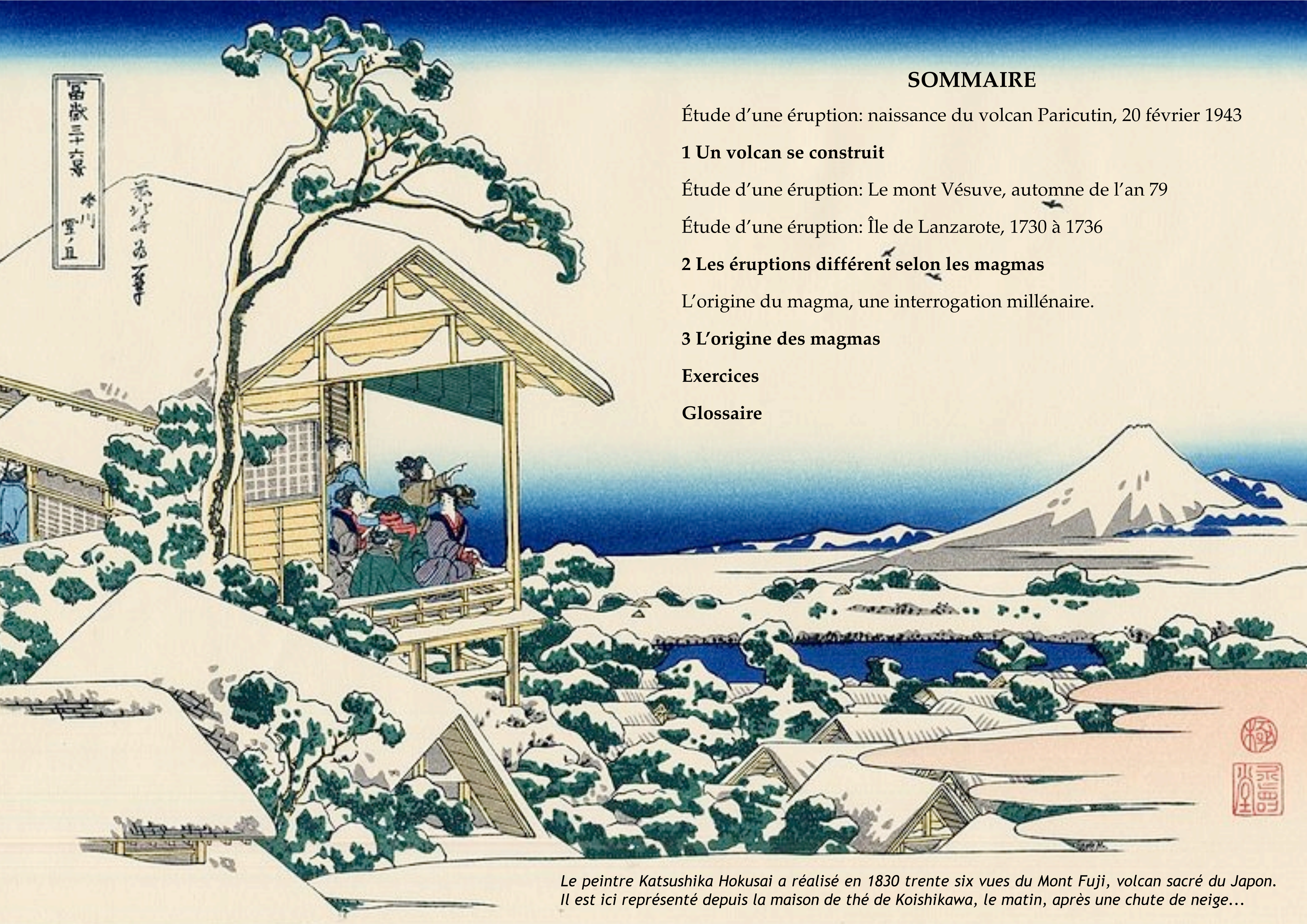
Le volcan Etna en éruption

Comment nait et se développe un volcan, quelles sont ses caractéristiques, et d'ou vient la matière qu'il rejette de façon spectaculaire ?

Hommes et volcans, une longue histoire...

Les éruptions volcaniques constituent des phénomènes extraordinaires, à la fois par leur beauté et par leur dangerosité. Longtemps, les volcans ont été associés à des cultes divers, en tant que montagnes sacrées. Toutefois, dès l'antiquité, les premiers scientifiques se sont interrogés sur leur origine réelle et leur fonctionnement, plusieurs payèrent de leur vie leur passion de la recherche. Il faudra pourtant attendre le 18éme siècle pour qu'un volcan, le Vésuve, qui en l'an 79 avait été à l'origine de la première éruption décrite en détail, soit étudié de façon approfondie, donnant naissance à la science des volcans. Après bien des aventures, l'origine des volcans allait être précisée, et leurs éruptions étudiées en détail.

Nous allons voir, dans les pages suivantes, les principales découvertes issues de ces recherches.



SOMMAIRE

Le peintre Katsushika Hokusai a réalisé en 1830 trente six vues du Mont Fuji, volcan sacré du Japon. Il est ici représenté depuis la maison de thé de Koishikawa, le matin, après une chute de neige...

Étude d'une éruption : naissance du volcan Paricutin, 20 février 1943

Nous sommes en 1942, au Mexique, à 300 km de la capitale, près du village de San Juan. Un beau jour du mois d'août, Dionisio Pulido, un paysan à l'épaisse moustache, découvre que le sol de son champ de maïs s'est effondré, formant un trou de 5m de diamètre et 1m50 de profondeur. Bien qu'ennuyé, Dionisio continue son travail sans s'inquiéter davantage. Cinq mois plus tard, la région subit plusieurs séismes, et des grondements se font entendre dans le sol.

Dans l'après-midi du samedi 20 février 1943, Dionisio, travaillant son champ, entend soudain de forts bruits dans le sol. Une fissure de 30m s'ouvre brusquement près du trou précédemment formé: il en sort une grande quantité de poudre chaude, de la cendre volcanique, qui s'accumule pendant que de sourdes explosions retentissent dans les profondeurs.



En un jour, un cône de 30 m se forme, dominant le champ. Le lendemain, une coulée de lave part de ce cône et s'arrête rapidement. En 3 jours, le cône atteint 60 m de hauteur, puis, après une semaine d'activité continue, 120 m. Il s'en échappe des jets de gaz, de la vapeur d'eau, et une quantité considérable de cendres, légères particules minérales qui retombent sur le volcan et aux alentours: elles vont recouvrir, jour après jour, plus de 25 km² d'un sombre manteau minéral. De gros morceaux de lave solidifiée, les bombes volcaniques, sont aussi expulsés par le cratère du volcan et fendent l'air en sifflant (d'où leur nom) avant de s'écraser avec fracas sur ses pentes. (*photo ci-contre : le Paricutin en éruption en 1943, Le volcan a la forme d'un cône noir. Il s'en dégage des cendres sombres et des gaz qui apparaissent plus clairs.- USGS*)

Apprenant l'évènement, le peintre José Gerardo Francisco Murillo, dit «Dr Atl», quitte Mexico pour s'installer au pied du volcan: bravant le danger, travaillant à la limite des coulées de lave et des retombées de bombes, il va pendant 7 ans décrire dans ses toiles les changements qui affectent le volcan. Il en publiera un album en 1950.

En un mois, le volcan, nommé Paricutin d'après le nom d'un village voisin, atteint 150 m d'altitude, et continue de s'élever au fur et à mesure que les cendres s'accumulent: après un an, il mesure 336 m.

Le vendredi 7 juillet 1944, une épaisse coulée de lave s'épanche du volcan et se dirige lentement vers le village de San Juan Parangaricutiro, qu'elle envahit et recouvre, seul le clocher de l'église dépassant encore de la coulée solidifiée. Le Paricutin va rester en éruption pendant 9 ans, jusqu'au 4 mars 1952.

Questions rapides :

Où est situé le volcan ? Quels sont les matériaux qui en sortent ? De quoi est fait le cône du volcan ? Combien de temps a duré l'éruption ? S'est-elle déroulée tout le temps de la même façon ? Quels signes ont précédé la formation du volcan ?



1. Le paricutin de nuit, 1943
La haute température des produits rejetés par le volcan apparaît nettement, car les cendres et les gaz sont incandescents. Notez que la cendre rejetée s'accumule sur les pentes du volcan, les recouvrant d'un magnifique manteau lumineux. Photo USGS



2. Le cocher de l'église
Seul le clocher de l'église dépasse encore de la coulée de lave solidifiée. Notez l'aspect rugueux et la couleur sombre de la roche formée lorsque la coulée de lave du 7 juillet 1944 s'est refroidie, devenant solide. *photo* Wikipédia.



Film d'époque (anglais), bruit impressionnant - Ascension actuelle du Volcan (en musique locale) - Témoignage dans les ruines de l'église (en espagnol)

Un volcan se construit

Empilement de couches de cendres volcaniques dans les terrains de Ténériffe, non loin du volcan du pic de Teide- photo RR.

Les éruptions volcaniques sont des émissions de lave et de gaz.

Dès l'antiquité, les premiers scientifiques ont rapidement identifié les volcans, qui ont le plus souvent la forme de **cônes** surmontés de cavités, les **cratères**. Ils ont découvert les principaux éléments émis par un volcan en éruption: l'expulsion d'une grande quantité de **gaz**, sous forme parfois d'explosions violentes, s'accompagnait le plus souvent d'écoulements d'une substance extrêmement chaude, la **lave**, et de projections de morceaux de roche de taille diverse.

Logiquement, les «pères» grecs de la science, il y a 26 siècles, essayèrent d'expliquer ces phénomènes à partir de ce qu'ils connaissaient du feu et de ses usages: ils pensèrent que des vents puissants attisaient des feux souterrains à d'origine mystérieuse. Ces idées n'évoluèrent que vers le 18e siècle, lorsque W. Hamilton, ambassadeur d'Angleterre à Naples, profita de son séjour pour étudier le volcan Vésuve, alors très actif, et sa région. Il décrivit minutieusement son activité, et nota que les gaz dégagés par le volcan sont toxiques et peuvent asphyxier les hommes. Il publiera le premier livre scientifique, richement illustré, sur les volcans.



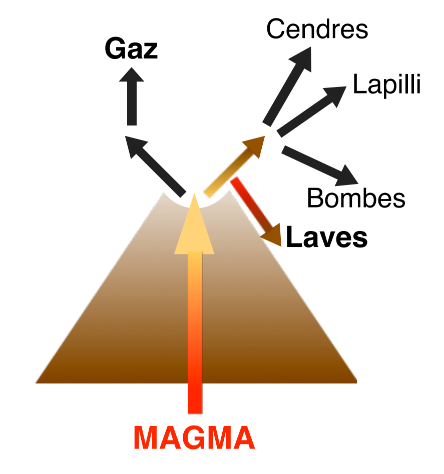
Le *cratère du volcan Hawaïen Pu u O ô, en éruption en 1990, montre les produits dégagés par un volcan: des gaz sont libérés lorsque la lave incandescente perce la mince croûte noire solidifiée au fond du cratère. Remarquez les couches concentriques, blanches et marron, visibles dans le cratère. Photo USGS*)

Dans les années 1790, le naturaliste italien Spallanzani, explorant les volcans d'Italie (Vésuve, Etna, et les îles éoliennes) étudie les roches liées à l'activité volcanique. Il montre que le basalte, une roche noire, est formée par les coulées de lave refroidies, et que des volcans différents forment les mêmes roches. À cette époque, l'origine des volcans est encore un problème: se forment-ils par gonflement du sol, ou bien par couches successives ? Pour répondre à cette question, il faudrait pouvoir observer un volcan «tout neuf», en train de se former... L'occasion se présente en 1831, lorsque le français Constant Prévost s'embarque pour une île volcanique qui vient d'apparaître au large de la Sicile, et qu'il va appeler île Julia.



***Éruption du Vésuve** en octobre 1822, peinte par J. Scrope, depuis Naples.*

La pluie de cendres retombant du panache volcanique est bien visible sur la gauche.

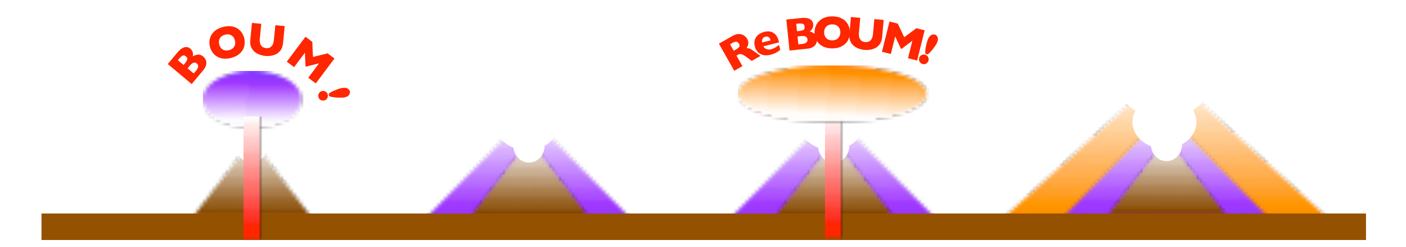


***Matériaux émis par un volcan.** Lorsque le magma arrive près de la surface, il laisse échapper les gaz qu'il contient. Il reste alors la matière minérale en fusion, la lave, ainsi que des débris solides de taille croissante: les cendres, très légères, les lapilli et les bombes, plus rares, qui peuvent atteindre plusieurs centaines de kg.*

L'édifice volcanique se construit à partir des matériaux émis lors des éruptions.

Parti de Toulon le 16 septembre, Prévost arrive en vue de l'île le 27, en pleine tempête. Il la décrit: «*une masse noire, solide, ayant tantôt la forme d'un dôme surbaissé, dont la base était triple de sa hauteur, tantôt celle de deux collines inégales, séparées par un large vallon*». Le 28, un canot peut s'approcher de l'île : « *pour la partie que nous avions sous les yeux, l'île était formée de matières meubles et pulvérulentes (**Cendres, Lapilli, Scories**), qui étaient retombées, après avoir été projetées en l'air pendant les éruptions. Je n'aperçus aucun indice de roches solides soulevées; mais je reconnus bien distinctement l'existence d'un cratère ou entonnoir presque central, duquel s'élevaient d'épaisses colonnes de vapeurs*». Le lendemain, Prévost explore l'île: il ne trouve pas de roches soulevées du fond marin, mais remarque, près de petites fissures d'où s'échappent des gaz qui soulèvent du sable, qu'il se forme des «taupinières» qui ressemblent, en réduction, à l'île: il en déduit qu'elle s'est bien formée par suite de **l'accumulation d'une grande quantité de matériaux d'origine volcanique**, et non par soulèvement: **un volcan s'édifie et se transforme graduellement par accumulation de matériaux sur ses pentes**, au fil des éruptions qui jalonnent son existence. Cela signifie que l'aspect d'un volcan change, qu'il peut s'y produire des éboulements, de nouveaux cratères peuvent s'y former, entrainant la formation de nouveaux cônes: un édifice volcanique évolue à chaque éruption.

Une éruption volcanique est le moment où une substance minérale extrêmement chaude, mélange de **roche fondue** et de **gaz**, le **magma**, parvient à la surface. Il laisse alors échapper les **gaz** qu'il contient (principalement du CO_2 et de la vapeur d'eau) mêlés à des **cendres**, petits morceaux de roches provenant du magma solidifié, extrêmement légères, et qui peuvent être produites en très grande quantité. Le magma en se solidifiant peut donner une grande variété de matériaux, dont les **lapillis**, fragments de roches qui retombent sur les pentes du volcan et aux alentours, et les **bombes**, énormes blocs projetés dans les airs par les **explosions** se produisant lorsque les gaz sous pression s'échappent du magma. Ces matériaux, ainsi que les **coulées de lave**, s'empilent et se superposent sur les flancs du volcan lors de chaque éruption, ce qui édifie un **cône volcanique** à l'aspect changeant.



***Croissance d'un volcan**. Au cours de chaque éruption, des nouveaux matériaux (ici violets, puis orange) sont propulsés hors du volcan et retombent sur ses pentes. Ces matériaux, solides, font grandir le volcan qui est donc formé d'un empilement de couches successives, chacune correspondant à un épisode éruptif. Schéma RR.*



***Gros plan de l'intérieur du cratère du Pu u o ô**. Le volcan est formé par l'empilement de couches différentes, aisément repérables par leurs couleurs. À chaque éruption, ou à chaque phase d'une même éruption, une couche de matériaux supplémentaire se dépose, faisant grandir le volcan et modifiant sa forme.*

Question d'élève: *Si les volcans grandissaient à chaque éruption, les plus vieux devraient toucher le ciel, non ?*
Trois phénomènes empêchent une croissance sans fin des volcans: l'érosion qui les détruit au fur et à mesure qu'ils s'élèvent, les éboulements et les explosions qui modifient leurs pentes, et le délai entre deux éruptions, qui peut dépasser la dizaine de siècles...

À RETENIR: Lors d'une éruption, du magma remonte d'une réserve profonde et, en surface, laisse échapper des gaz et des matériaux solides. Il peut s'écouler sous forme de lave. Tous ces matériaux s'accumulent pour former un édifice volcanique qui se construit à chacune de ses éruptions.

Étude d'une éruption : Le mont Vésuve, automne de l'an 79

Nous sommes le 24 octobre (ou novembre) de l'an 79, dans la région de Naples, Neapolis à l'époque, dominée par la silhouette du mont Vésuve. Autour de lui, des villes prospères: Herculanum, résidence d'été de nombreux Romains fortunés, Oplontis, Stabies, et la riche ville de Pompéi. Quelques années auparavant, des séismes se sont produits dans la région, ils sont fréquents depuis quelques jours, et des sources et des puits se sont brusquement asséchés au début du mois. 30000 habitants de ces cités de l'Empire romain vont vivre leur dernier jour: le mont Vésuve va se révéler être une montagne pour laquelle les Romains devront inventer le mot: volcan.

Le matin, vers 10h, une grande explosion retentit: tous les regards se tournent vers le Vésuve, qui apparaît soudain surmonté d'une énorme colonne de fumée sombre qui s'élance vers le ciel. A 35 Km de là, à Misène, l'amiral Pline, éminent naturaliste qui connaît quelques volcans, observe le phénomène. Désireux de l'étudier de près et recevant des appels au secours, il fait préparer plusieurs navires puis se dirige vers Herculanum. Il ne reviendra jamais. Son neveu, Pline le jeune, resté à Miséne, décrit ainsi l'éruption: «*Il était difficile de discerner de loin de quelle montagne sortait ce nuage; l'événement a découvert depuis que c'était du mont de Vésuve. Sa figure approchait de celle d'un arbre, et d'un pin parasol plus que d'aucun autre car, après s'être élevé fort haut en forme de tronc, il étendait une espèce de feuillage. Je m'imagine qu'un vent souterrain violent le poussait d'abord avec impétuosité et le soutenait; mais, soit que l'impulsion diminuât peu à peu, soit que ce nuage fût affaissé par son propre poids, on le voyait se dilater et se répandre».*

La colonne de cendres et de gaz provenant de l'explosion du sommet du volcan s'élève jusqu'à 30 km d'altitude. À Pompéi et dans les villes autour du Vésuve, c'est l'affolement. Certains fuient au plus vite, les rues sont encombrées de chariots, car ceux qui le peuvent emportent leurs biens. De nombreux habitants essayent de fuir par la mer, mais les vents sont contraires, et les eaux agitées. D'autres décident de rester chez eux, se croyant à l'abri.

Rapidement, le nuage de cendres et de gaz s'étend, cachant le soleil. Dans la lueur indécise des lampes à huile, les habitants sont terrifiés, et, vers 13h, des pierres commencent à tomber du ciel: ce sont des ponces, très légères, qui flottent sur l'eau, ainsi que d'autres fragments de roche plus denses, les lapilli. Les pierres s'accumulent, et en quelques heures il y en a tellement (une couche épaisse de 2 m) que les habitants sont bloqués dans leurs maisons dont les toitures s'effondrent sous le poids des matériaux volcaniques.

Pendant ce temps, la colonne de gaz et de cendres, refroidie, s'effondre sur elle-même et dévale les pentes du volcan en avalanches meurtrières: ces **nuées ardentes** de cendres et de gaz à 300 °C, se déplaçant à grande vitesse, ensevelissent Herculanum sous 23m de cendres. A Pompéi, les cendres recouvrent les ponces déjà accumulées; ainsi qu'Oplontis et Stabies. Quelques jours plus tard, l'éruption est terminée, 4 cités et 30000 victimes sont ensevelies pour 18 siècles...

Questions rapides: *Comment débute l'éruption ? Quels sont les matériaux recrachés par le Vésuve ? Quel phénomène détruit les villes et les ensevelit ? Combien de temps à durée l'éruption ? Quel matériau souvent associé aux volcans est absent de cette éruption ?*



Reconstitution (bande annonce) - Ruines d'Herculanum et Pompei - La fin d'Herculanum.

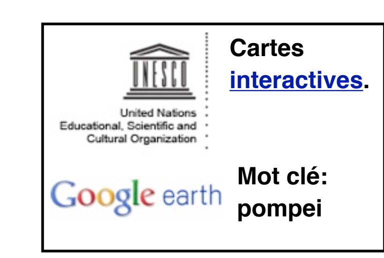


***Un aspect similaire**: L'éruption de 79 a du ressembler à celle du mont Redoubt, en Alaska, en 1990. Photo USGS*





Une reconstitution: *La chaîne TV Discovery channel propose une reconstitution de l'éruption de 79 (à gauche). Si le panache volcanique correspond aux descriptions, le Vésuve est ici représenté plus grand qu'on ne le voit de Pompei, comme le montre la photo actuelle prise depuis les ruines de la ville (à droite, photo RR).*



Cartes interactives.

Mot clé: pompei

Étude d'une éruption : Île de Lanzarote, 1730 à 1736

Lanzarote est une petite île des Canaries, à 150 km des côtes d'Afrique. Au début du 18éme siècle, elle abrite de nombreux petits villages. La population vit principalement de la pêche et de l'agriculture, car le sol est très fertile. Le premier septembre 1730, cette terre fertile va littéralement s'ouvrir, et l'aspect de l'île va être changé à jamais.

Don Andres Lorenzo Curbelo, curé du village de Yaiza, a noté avec précision les événements qui se sont déroulés: «*Le 1° septembre 1730, entre neuf heures et dix heures du soir, la terre s'entrouvrit tout à coup auprès de Timanfaya, à deux lieues de Yaiza. Dès la première nuit, une énorme montagne s'était élevée du sein de la terre et de son sommet s'échappait des flammes qui continuèrent à brûler pendant dix-neuf jours (…), un torrent de lave se précipita sur Timanfaya, sur Rodeo et sur une partie de La Mancha Blanca. La lave s'écoula sur les villages vers le nord, d'abord aussi rapide que l'eau, mais bientôt sa vitesse se ralentit et elle ne coula plus que comme du miel (…) Le 7, une colline s'éleva dans un bruit de tonnerre (...) la lave (...) détruisit en quelques minutes les localités de Maretas et Santa Catalina. Le 11 septembre, l'éruption se renouvela avec force et la lave recommença à couler. De Santa Catalina, elle se précipita sur Maso, incendia et recouvrit tout ce village et poursuivit son chemin jusqu'à la mer ; elle coula pendant six jours de suite avec un bruit effroyable et en formant de véritables cataractes.(...) Le 18 octobre, trois nouvelles ouvertures se formèrent (...) de ces orifices s'échappèrent des masses d'une fumée épaisse qui s'étendit sur toute l'île. (…) Des coups de tonnerre et les explosions qui accompagnèrent ces phénomènes, l'obscurité produite par la masse de cendres et de fumées qui recouvrait l'île, forcèrent plus d'une fois les habitants à prendre la fuite. (…). Le 28 octobre, l'action volcanique s'était exercée de cette manière pendant 10 jours entiers, lorsque tout à coup le bétail tomba mort, asphyxié dans toute la contrée, par un dégagement de vapeurs pestilentielles.*»

Ainsi, pendant six ans, après des périodes d'accalmies de quelques jours, de la lave et des cendres s'échappent des fissures du sol, des cônes volcaniques se forment et les coulées de lave dévastent de sud de l'île jusqu'à l'océan. Don Curbello note: «*Chaque fois que les hommes croyaient que leur malheur s'achevait, de nouvelles fissures s'ouvraient, de nouveaux cônes s'érigeaient.*» Ainsi, trente grands cônes volcaniques vont se former, 170 km^2 (le quart de l'île) vont être recouverts de lave, et les régions alentour noyées sous les retombées de cendres et de lapilli: 75% de l'île est recouvert de roches volcaniques datant de l'éruption. Dix villages et 420 fermes sont recouverts de lave, une partie de la population quitte l'ile. Malgré ces destructions, il n'y a aucune victime humaine: les coulées ont un parcours prévisible et avancent lentement, permettant de fuir.

Actuellement, la région centrale de l'éruption constitue le parc national du Timanfaya. C'est une région désolée et aride, recouverte de cendres volcaniques, de cônes et de coulées de lave figées. Presque trois siècles après l'éruption, la chaleur accumulée dans les roches est telle qu'à certains endroits, il est impossible d'enfouir la main sous la cendre volcanique, car elle est trop chaude. De l'eau versée dans un tube enfoncé dans le sol ressort en quelques secondes sous forme d'un jet de vapeur.

Questions rapides: *Comment débute l'éruption ? Quels sont les matériaux émis par les volcans ? Quel phénomène détruit les villages et les ensevelit ? Combien de temps à durée l'éruption ? Quelles en ont été les victimes ?*





Une idée: *Lanzarote est entrée en éruption avant que la photographie n'existe, mais d'après les descriptions que nous en avons, elle présentait toutes les caractéristiques de celle que l'on peut observer de nos jours sur l'île d'Hawaï: fontaines de lave (en haut), éruptions spectaculaires (ci-contre) et imposantes coulées (ci-dessous) sont les composantes de ce genre d'éruption volcanique. Photos USGS*



YouTube *Parc national de Timanfaya (en espagnol) - Bois sec qui s'enflamme seul dans un trou de quelques cm .*

Google earth **Mot clé: Parque Nacional de Timanfaya**



Les éruptions sont différentes selon les magmas.

Alignement de cônes volcaniques dans un paysage de coulées de laves solidifiées à Timanfaya, île de Lanzarote- photo RR.

En comparant les deux éruptions précédentes, vous avez du découvrir qu'il existe différents types d'éruptions volcaniques: très schématiquement, on peut distinguer les «volcans qui coulent» et les «volcans qui explosent».

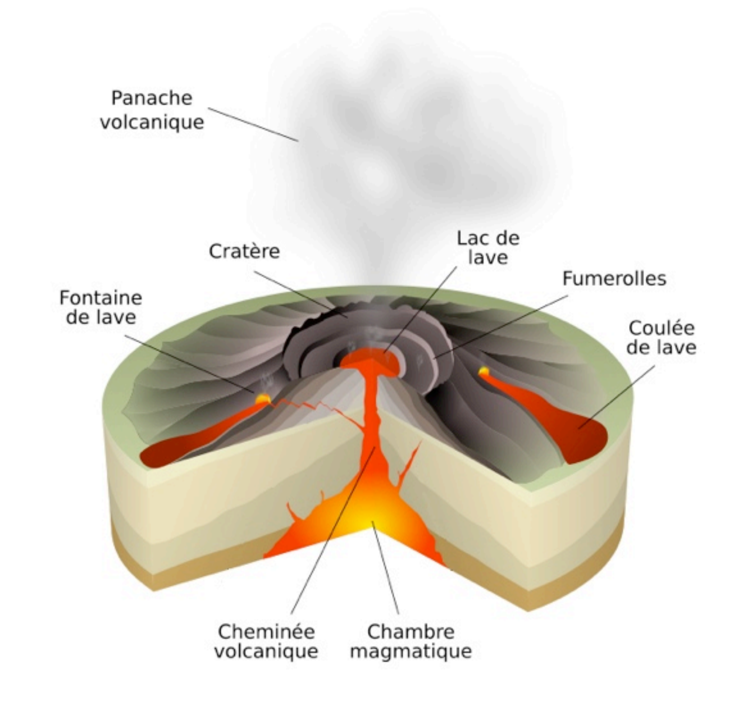
Les magmas fluides donnent naissance à des coulées de lave.

Lorsque le magma d'un volcan est **fluide**, **il se déplace facilement** dans les fissures qui lui permettent de se diriger vers la surface et constituent la **cheminée** volcanique. Etant fluide, ce magma perd facilement ses gaz, qui se séparent du magma lorsqu'il arrive en surface (il n'y a donc pas d'accumulation de pression dans le volcan), formant un panache peu développé. La partie liquide «dégazée» du magma, la lave, dont la température est d'environ 1200°C, **s'écoule le long des pentes** du volcan.



Au fur et à mesure qu'elles s'éloignent du volcan, les coulées de lave se refroidissent et commencent à se solidifier vers 750 °C. Ce faisant, elles donnent naissance à une roche noire, le basalte. Toutefois, comme la lave est très chaude, elle ne se refroidit qu'en surface, et une «croûte» rocheuse isolante se forme, qui permet à la lave fluide de continuer à s'écouler à l'intérieur. Parfois, la quantité de lave produite est si importante qu'elle forme de véritables «fleuves» de lave, spectaculaires, souvent filmés. *(a gauche, une coulée de lave du volcan Etna, en Sicile, en 2006 - photo Romgiovanni/Wikimedia*). Une coulée peut ainsi parcourir une centaine de km, à une vitesse de l'ordre de la dizaine de km/h.

La vitesse d'écoulement de la lave dépend de sa viscosité (plus elle est fluide, plus elle va vite) ainsi que de la pente du terrain sur lequel elle coule, mais le plus souvent les coulées sont assez lentes, ce qui permet de leur échapper: les éruptions de ces volcans à magma fluide, que l'on nomme les **volcans effusifs**, sont peu dangereuses pour les populations qui vivent aux alentours. Par contre, la lave provoque des incendies et détruit, en les recouvrant, tous les bâtiments ou les ouvrages qui se trouvent sur son passage et qui n'ont pu être déplacés. Une coulée peut atteindre une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres, et modifie durablement l'environnement dans lequel elle s'est épanchée.



Un volcan effusif en éruption

Le magma fluide atteint la surface où il se sépare facilement en gaz, qui forment un panache plus ou moins développé, et en coulées de lave qui s'éloignent lentement du volcan. Des cendres, des bombes et des lapillis peuvent accompagner le dégagement de lave.

Schéma Sémhur/Wikimedia



Eruptions au paradis (Hawaii, en anglais) - Coulées de lave - Eruption sur l'Île de la Réunion - L'Etna en éruption.

Google earth **Mot clé: Puu Oo, Etna 95030**

Les magmas pâteux provoquent des explosions projetant des matériaux divers.

Vers l'an -270, le philosophe Straton considérait que les volcans étaient un «dispositif de sécurité», et que par conséquent ils constituaient un danger lorsqu'ils étaient «bouchés». Malgré ces observations, et le précédent constitué par l'éruption du Vésuve en 79, il faudra attendre les explorateurs du 18ème siècle, comme Humbolt, qui décrivit et fit l'ascension du Chimborazo, en équateur; et des éruptions meurtrières comme celles du Krakatoa, en 1883, et de la montagne Pelée, en 1902, pour qu'apparaissent clairement les particularités des volcans qui, au lieu de s'épancher en laves incandescentes, explosent brutalement en avalanches meurtrières de cendres et de gaz.

Lorsqu'un volcan est alimenté par un **magma pâteux**, ce dernier progresse difficilement vers la surface, se solidifiant et **formant un «bouchon» rocheux** sous lequel la pression, due à la libération des gaz, augmente dangereusement. Sous l'influence de cette pression, le magma prend l'aspect d'un mélange de gaz et de débris rocheux de taille diverse. **Lorsque la pression devient supérieure à la résistance des roches, une partie du volcan explose.**

Le magma, brutalement libéré, jaillit sous forme d'un panache gigantesque, mélange de roches, de gaz et de poussières à plusieurs centaines de degrés; qui s'élève dans l'atmosphère à plusieurs dizaines de km d'altitude, puis, finissant par se refroidir, s'étale, prenant une forme caractéristique de pin parasol. Autour du volcan, il pleut des cendres, parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur.

Les poussières du panache, vont mettre des jours, voire des mois à retomber, et se dispersent sur toute l'étendue du globe. Elles peuvent même modifier le climat mondial, le plus souvent dans le sens d'un refroidissement.

Le panache volcanique finit, une fois un peu refroidit, par **s'effondrer sur lui même**: il retombe de plusieurs km d'altitude et roule sur les flancs du volcan en avalanches de poussières, de cendres et de gaz brûlants (300°C) se déplaçant à plusieurs centaines de km/h: ces **nuées ardentes** détruisent toute vie sur leur passage.

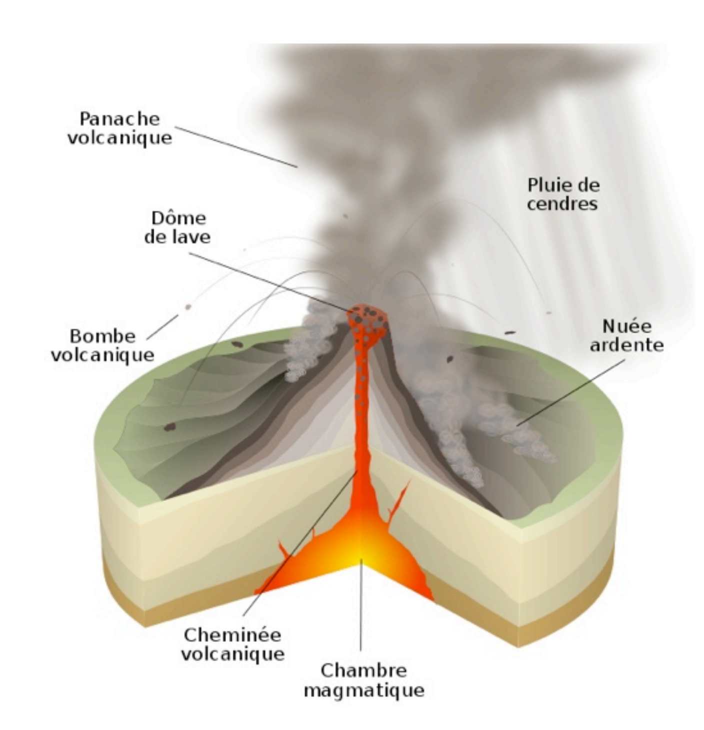
Ce sont ces nuées qui ont détruit Pompéi en 79, St Pierre (en Martinique), en 1902 et, plus récemment, la ville de Plymouth (île de Montserrat, Antilles anglaises) en 1997.

Ce volcanisme, **de type explosif**, est très dangereux. Le magma s'étant solidifié en partie au cours de sa remontée, **il n'y a pas de coulées de lave**. C'est pour cela que l'on parle de «volcans gris».

Après l'éruption, un nouveau «bouchon» se met en place dans le cratère (où ce qu'il en reste). Ce bouchon rocheux peut prendre différents aspects (piton, dôme...), il s'édifie lentement en s'écroulant sous la poussée des gaz qui le fracturent et peuvent ainsi s'échapper peu à peu. Mais malgré cela la pression, inévitablement,, monte dans les profondeurs... jusqu'à la prochaine explosion.



Nuées ardentes sur le Merapi, 2010 - Eruption du Fuego, Guatemala. - Danger des nuées ardentes.



Volcan explosif en éruption. *La grande quantité de cendres et les nuées ardentes rendent ces éruptions redoutables. Schéma Sémhur/Wikimedia*



Nuées ardentes *sur le flanc du volcan Mayon, aux Philippines, en 1984. Photo USGS*

Google earth **Mots clé: Unzen, Sakurajima, Mont Rainier, krakatoa, Montagne pelée, pinatubo.**

Une nuée ardente spectaculaire: le [mont St Helens,] 18 mai 1980

En mars 1980 se produisent sous le mont St Helens une série de séismes, vite suivis t par de petites éruptions de vapeur et de cendres. Le flanc nord du volcan commence à gonfler, la pression s'accumulant au dessous. Fin avril, cette bosse s'accroit d'un peu moins de 2 m par jour, et le sommet du volcan, fragilisé par cette poussée, commence à se fracturer. Les géologues donnent l'alerte le 30 avril: une éruption majeure est proche. La région est évacuée.

A 8h 32, le 18 mai, un séisme fait s'effondrer le côté nord du volcan: le magma est alors libre de parvenir à la surface et, brutalement libéré, s'élève vers le ciel en une colonne de cendres et de gaz qui va en 10 min atteindre 19km d'altitude.

Sur le côté nord ouvert du volcan, les gaz et les roches pulvérisées forment une nuée ardente, à plus de 350 °C, qui atteint 1000 Km/h, rasant 600 Km² de forêts et évaporant l'eau d'un lac. Il y eu, malgré les précautions prises, 57 victimes. Il y aura encore 17 autres nuées ardentes, moins violentes, et 500 millions de tonnes de cendres vont retomber sur plus de 60 000 km². En fondant et en se mélangeant avec la roche, la neige des glaciers forme aussi des coulées de boue dévastatrices. Cette éruption aura libéré autant d'énergie que 27000 bombes atomiques.



Questions d'élèves

Les volcans, ils polluent beaucoup l'air pendant leurs éruptions?

Les éruptions les plus importantes relâchent en effet des gaz dits «polluants» dans l'atmosphère, et peuvent même modifier un moment les climats. Les volcans en activité permanente produisent aussi beaucoup de gaz, mais leur influence actuelle sur la composition de l'atmosphère est négligeable.

Il y a des volcans en France?

Les seuls volcans actifs sont situés sur les îles françaises: le piton de la fournaise à la Réunion, La soufrière à la Guadeloupe et la montagne Pelée à la Martinique. En France «continentale», il y a d'anciens édifices volcaniques en Auvergne, qui forment la chaîne des puys.

À RETENIR

Les différents types de volcans et d'éruptions sont liés à la composition des magmas, qui peuvent être:

- **fluides, s'épanchant sous forme de coulées de lave (volcanisme effusif).**
- **pâteux, édifiant des «bouchons». Les gaz qui ne peuvent s'échapper assez vite provoquent des explosions (volcanisme explosif), créant de dangereuses nuées ardentes.**

Google earth **Mot clé: Mount St. Helens**

Aller plus loin

Un volcan reste t'il toute sa «vie» du même type ?

Pourquoi existe t'il différentes sortes de magmas, quelle est l'origine de leurs différences?

Peut-on prévoir les éruptions les plus dangereuses ?











***L'activité du Mont St Helens** après son éruption de 1980 constitue un excellent exemple de volcanisme explosif. Toutes photos USGS.*

L'origine du magma, une interrogation millénaire.

Les éruptions volcaniques marquent tous ceux qui y ont assisté. Dès l'antiquité, les premiers scientifiques ont tenté d'imaginer et d'étudier ce qui pouvait, dans les profondeurs de la terre, être à l'origine des matériaux rejetées par les volcans qu'ils connaissaient (l'Etna en Sicile, les îles de Stromboli et de Vulcano).

Les magmas ont une origine profonde et contiennent de la roche et du gaz

Il y a 24 siècles, le philosophe Platon pensait qu'à l'intérieur de la Terre un vaste fleuve de feu, d'origine mystérieuse, alimentait tous les volcans. Pour le philosophe Aristote, des vents puissants, dans d'étroites cavernes, étaient capables d'agiter le sol, causant les séismes, et d'enflammer des gaz à l'origine des éruptions: «*le feu qui se forme dans la terre a pour cause le fait que le choc enflamme l'air qui s'est préalablement réduit en fines particules*» écrivait t'il. Pour Aristote, l'origine des magmas était superficielle, alors que Platon croyait à l'existence d'une origine profonde.

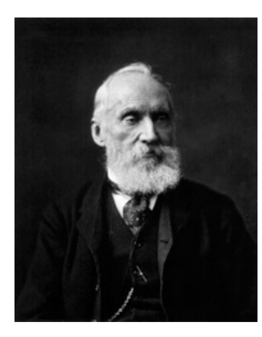
Trois siècles plus tard, vers l'an 30, le philosophe Philon d'Alexandrie s'oppose à ces deux explications en remarquant que **ce n'est pas du «feu» qui sort des volcans**, mais de la roche fondue. A la même époque, le philosophe romain Sénèque note qu'**il y a aussi du gaz libéré lors des éruptions**, et propose que chaque volcan soit alimenté individuellement par une «source» locale. Ce sont, hélas, les idées de Platon et d'Aristote qui vont s'imposer pendant tout le moyen-âge, l'église veillant à ce qu'aucune théorie ne contredise l'existence d'un «enfer» souterrain. Toutefois, à partir du 16^{éme} siècle, de grands navigateurs vont découvrir de nouveaux volcans (Hawaii, la Réunion, les volcans d'Asie) et une révolution des idées, opérée après les propositions de Copernic, laisse penser que les anciens Grecs ont pu se tromper. Malgré ces remises en question, le jésuite A. Kircher en 1678, propose encore qu'une vaste cavité pleine de feu, au centre de la Terre, communique avec la surface par des passages s'ouvrant au niveau des volcans...

Les magmas n'existent que sous les volcans

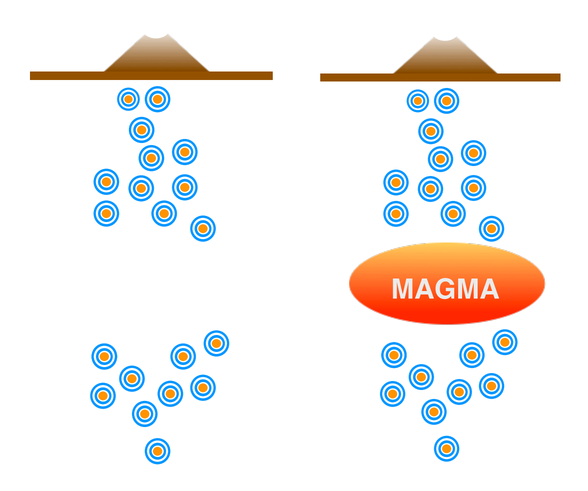
En 1755, le naturaliste G. Della Torre montre que Kircher s'est trompé: l'intérieur de la Terre ne contenant pas d'air et celui-ci étant indispensable aux combustions, il ne peut donc contenir de feu. L. Cordier observe en 1827 que la température dans les mines augmentant de 1 degré tous les 25 mètres, elle doit atteindre 1600°C à 50 km de profondeur et fondre les roches. La Terre serait alors une boule de magma recouverte d'une mince écorce solide (*beaucoup de personnes, même à notre époque, en sont restées à cette idée*). **Il se trompe toutefois**, comme le montre dès 1839 W. Hopkins: ce physicien remarque que la température de fusion des roches augmente avec la pression: les roches profondes ne se comportent donc pas comme celles que l'on peut étudier en surface. De plus, en étudiant le mouvement de rotation de la Terre, Hopkins montre que **notre planète ne peut pas posséder un intérieur liquide**. Son élève W. Thomson (alias Lord Kelvin), démontre en 1862, en étudiant les marées, que **la Terre se comporte comme si elle était essentiellement solide**. Au 20^{éme} siècle, l'étude des ondes sismiques confirmera l'essentiel des conclusions de Lord Kelvin, à savoir que le globe terrestre se comporte comme un solide et que **les seules parties rocheuses en fusion sont des réservoirs de magma que l'on ne trouve que sous les volcans,** et dont l'emplacement sera étudié en utilisant les ondes sismiques.

Questions rapides: Quel argument utilise Della Torre pour contrer l'idée qu'il existe une réserve de «feu» à l'intérieur de la Terre? Quel philosophe grec a eu la même idée que lui? Quel phénomène physique explique que des roches peuvent se comporter comme des solides à plus de 1600 °C ? Pourquoi les idées de l'antiquité ont-elle pu commencées à être contestées au 16^{éme} siècle ?





2200 ans d'efforts. *Depuis Platon et Aristote (représentés ici dans un détail du tableau «l'école d'Athènes», de Raphaël) jusqu'à Lord Kelvin en 1862, plus de 2200 ans auront été nécessaire pour comprendre que les volcans sont alimentés par une source locale de magma, et que l'intérieur de notre planète n'est pas un océan de magma. Documents wikimedia.*



Localisation de la chambre magmatique.

Tous les foyers des séismes liés à la montée du magma avant une éruption dessinent deux «nuages» (à gauche) séparés par un «vide», où la roche n'est donc pas à l'état solide: c'est là que se situe la chambre magmatique (à droite) où s'accumule le magma.

Le nuage de foyers sous la chambre correspond aux fissures qui l'alimentent: le magma ne se forme donc pas dans la chambre, son origine est plus profonde...

L’origine des magmas

Gaz et matières minérales en fusion sont les deux composantes des magmas, qui se séparent à leur arrivée en surface, comme ici lors qu’une éruption de l’Etna. Photo USGS.

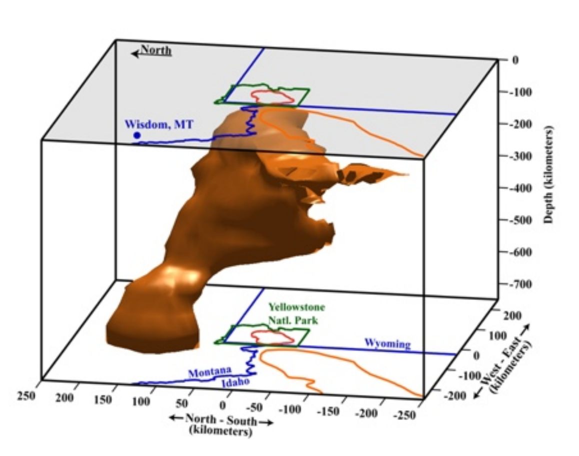
Le comportement des magmas est très complexe, car ce sont des mélanges hétérogènes de liquides et de gaz comportant aussi des éléments solides en proportions changeantes, le tout sous des pressions variables et avec d'importantes différences de température.

Les magmas séjournent longuement dans une chambre magmatique profonde

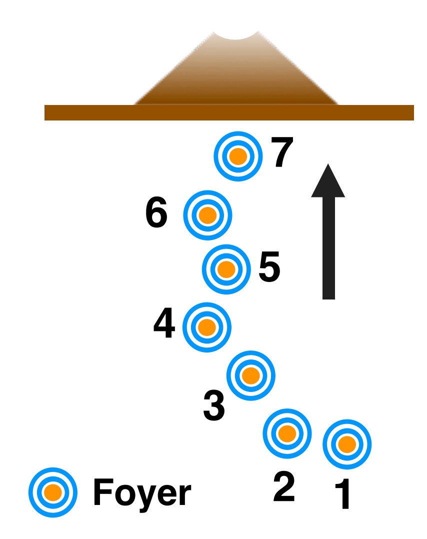
Au cours d’une éruption, un grand volume de magma sort du volcan en peu de temps: cela laisse penser qu’**il est stocké en profondeur** dans une «réserve». Cette réserve porte le nom de **chambre magmatique**. Sa présence a été confirmée par l’étude des séismes provoqués par la rupture des roches réalisée par le magma au cours de son ascension vers la surface (voir schémas ci-contre).

Le magma se créé, en effet, un chemin dans la roche en la fracturant. Ce passage sinueux et très étroit est la **cheminée** du volcan. A chaque éruption, le magma peut emprunter une cheminée voisine ou identique à la précédente ou bien en créer une nouvelle, voire plusieurs! Dans ce cas, un nouvel édifice volcanique pourra se former sur les pentes du cône principal. Ainsi, l’Etna, en Sicile, possède quatre cratères principaux et plus de 250 cônes volcaniques dispersés sur ses flancs. Entre les éruptions, **la cheminée est emplie de magma solidifié**: ce n’est donc pas un «tunnel» qui conduit à la chambre magmatique !

La chambre magmatique porte d’ailleurs un nom trompeur: ce n’est pas une espèce de profonde caverne emplie de magma, mais une zone profonde, entre 10 et 50 km sous la surface, très fracturée, un ensemble de fissures de toutes formes et de de toutes tailles où le magma se concentre, et sui contient seulement 10% environ de roches fondues. En effet, **le magma ne se forme pas dans la chambre magmatique**, il a une origine bien plus profonde. Il s’accumule dans la chambre et peut y rester pendant des siècles, au cours desquels sa composition chimique et son état évoluent. Le volume de la chambre est très important: il atteint plusieurs km³ (***ci-contre***: *reconstitution du volume de la chambre magmatique géante présente sous la région volcanique de Yellowstone, aux USA. Surface couverte 500 x 500 Km, profondeur 700 Km. Le magma contient entre 8 et 15% de roches fondues.* Doc. Université de l‘Utah/ [Seismology and Active Tectonics Research Group.])



Le magma est un matériau sous pression, de consistance variable, **qui contient une grande quantité de gaz dissous**. C’est la présence de ces gaz qui va causer son ascension finale vers la surface.



conséquence de l'ascension du magma

La cassure des roches par le magma en mouvement provoque la formation d’ondes sismiques. Si on localise les foyers de ces séismes, les numéros correspondant à leur ordre d’observation, on constate qu’ils se rapprochent peu à peu de la surface, décrivant le parcours du magma, c’est à dire dessinant la forme de la cheminée.



***Une ancienne cheminée:** le Strombolichio, petit îlot en face du volcan Stromboli, est tout ce qui reste de la cheminée d’un ancien volcan aujourd’hui complètement érodé.*

Les éruptions sont déclenchées par l'évolution de la composition des magmas

A son arrivée dans la chambre magmatique, le magma est un mélange de roches fondues contenant différents gaz dissous. Il va se se refroidir très lentement, pendant plusieurs siècles.

En se se refroidissant, une partie du magma se solidifie, c**e qui enrichit la partie liquide restante en gaz**: les gaz mettent le magma sous pression, des bulles de gaz se forment, le volume du magma augmente **et il pousse fortement sur les roches qui l'environnent**. Ces roches finissent par se briser, et la magma s'insinue dans les fissures ainsi créées, et, fissure après fissure, déclenchant des séismes à chaque fois qu'il fracture des roches, il se dirige vers la surface (ce qui explique pourquoi les éruptions sont souvent précédées d'une série de séismes).

Les cassures successives de la roche conduisent enfin le magma au contact de la surface, et, sous pression, il jaillit sous des formes diverses qui dépendent de sa viscosité et de sa richesse en gaz.

Une fois en surface, le refroidissement des magmas, selon les conditions dans lesquelles il s'effectue, va donner naissance à une grande variété de roches que l'on nomme les roches éruptives.

Question d'élève
Est-ce qu'on peut récupérer l'énergie du magma ?

C'est possible, mais pas partout. Dans de rares régions où une ou plusieurs chambres magmatiques sont présente à faible profondeur, comme l'Islande, il est possible d'utiliser la chaleur extrême du sous sol pour produire de la vapeur, utilisée pour fabriquer de l'électricité.

Même sans présence de magma, la chaleur du sous sol, peut être utilisée (c'est la géothermie) pour chauffer les bâtiments, mais cela n'est rentable que dans les régions où le sous sol est particulièrement chaud.

Signalons aussi une utilisation originale, dans l'île de Lanzarote: un restaurant utilise la chaleur se dégageant du sous sol pour alimenter un grill disposé «à l'air libre» et fonctionnant gratuitement 24h/24...

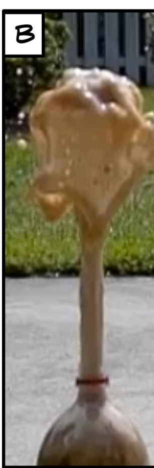
À RETENIR - *résumé du chapitre -*

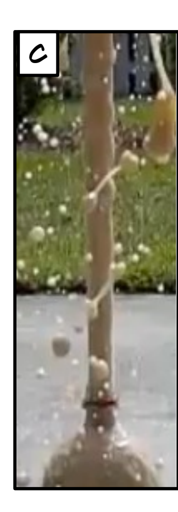
Longtemps avant une éruption, du magma remonte d'une source profonde et séjourne longuement dans une vaste chambre magmatique où il s'enrichit en gaz, ce qui le met sous pression. Lorsque la pression est suffisante, il remonte par une cheminée vers la surface.

S'il est fluide, il forme des coulées de lave et perd son gaz facilement; s'il est pâteux, il provoque des explosions et des nuées ardentes.

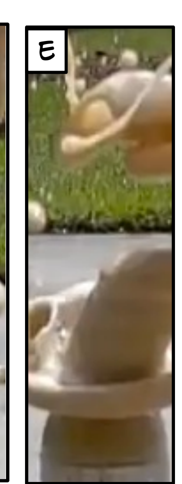
Les matériaux de l'éruption s'accumulent petit à petit, construisant ainsi l'édifice volcanique.











Un «modèle» d'éruption volcanique est donné par une éruption «soda-ique» *: Si la teneur en gaz du magma est responsable des éruptions, on devrait observer les mêmes phénomènes en provoquant dans un soda, liquide riche en gaz, une brusque formation de bulles de gaz.*

*Le revêtement de certains bonbons à la menthe permet de provoquer une brusque formation de bulles dans le soda. On observe alors qu'une colonne de gaz s'élance hors de la «cheminée» (le goulot) en emportant le liquide avec lui (**A**). Ensuite, le sommet de la colonne s'aplatit (**B**), formant un «nuage» de liquide et de gaz. La colonne monte encore et il retombe de son sommet des «morceaux» de taille variée (**C**), puis elle s'effondre sur elle même, (**D**) provoquant une «nuée ardente» (**E**) dévastatrice sur la bouteille.*

Notre «modèle» nous permet donc de retrouver les diverses phases d'une éruption, ce qui contribue à valider l'hypothèse selon laquelle c'est la teneur en gaz des magmas qui est responsable des éruptions.

(Images tirées d'une séquence video filmée à 1200 images/s, avec l'aimable autorisation de R. Woodhead.)

Aller plus loin

Quelles sont les roches éruptives? Comment se forment-elles ?

Le magma peut il se solidifier complètement sans éruption ? ?

Existe t'il d'anciennes chambres magmatiques rendues accessibles par l'érosion? A quoi ressemblent elles ?

Les diamants viennent ils du magma ?

QUESTIONS DE COURS

1/ Pourquoi les volcans ont-ils souvent une forme conique ?
2/ Qu'est-ce qu'une nuée ardente ?
3/ Quels sont les produits émis pendant une éruption ?
4/ Quels sont les divers types d'éruptions volcaniques? A quelle particularité du magma sont-elles liées ?
5/ Qu'est-ce que la chambre magmatique ?

COLLES

1/ Le mot magma viens du latin (*magma)* où il désignait un reste de parfum (solide), mais qui correspond à un mot grec qui signifiait «pâte» . Pourquoi avoir donné ce nom à ce qui alimente les volcans ? (2 pts)

2/ En 1866, Ferdinand Fouqué découvre, dans l'île de Santorin, des vestiges archéologiques recouverts par une épaisse couche de pierres ponces. Ces restes sont situés à la base de ce qui reste du cône volcanique qui occupait autrefois la majorité de l'île. Pourquoi en déduit-il qu'il a trouvé une preuve que les volcans se construisent par dépôts successifs de matériaux ? (4 pts)

3/ Réalisez un tableau comparant les volcans effusifs et explosifs. Vous montrerez leurs caractéristiques au niveau du magma, des produits émis lors de l'éruption, de ses conséquences et de sa dangerosité.

EXERCICES

1 - Une terre nouvelle (16 pts)

7 novembre 1963: à Reykjavik, capitale de l'Islande, un sismographe enregistre de faibles secousses sismiques, mais leur origine n'est pas localisée. Le 12 novembre, un navire de recherche océanographique découvre une zone marine, où la profondeur est de 130m, où l'eau est plus chaude que la normale. Le même jour, les habitants d'un port situé à 80 km de cette zone remarquent dans l'air une odeur de gaz soufré.

Le 14 novembre au matin, le cuisinier d'un chalutier, au sud de l'Islande, signale une colonne de fumée sombre. Le navire s'en approche, pensant secourir un bateau en feu. L'équipage découvre des explosions projetant des colonnes de cendres. À 11h 00, le panache volcanique atteint six kilomètres d'altitude. Le lendemain, un cône émerge de l'océan, formé par l'accumulation des matériaux recrachés par ce nouveau volcan, il atteint alors 45m de haut. La nouvelle île qui se forme ainsi et continue de grandir est appelée Surtsey, en référence à Surt, géant du feu de la mythologie nordique.

11- Pourquoi l'éruption n'a t'elle pas été découverte immédiatement ? (1 pt)
12 - A quoi correspondaient les secousses sismiques détectées à Reykjavik ? (2 pts)
13 - expliquez l'origine et la succession des événements entre les secousses sismiques et la sortie de l'eau du cône volcanique. (5 pts)



14 - Depuis sa formation, et bien qu'elle ne soit pas dangereuse, l'île de Surtsey est interdite aux humains, seuls de rares scientifiques y vont pour observer les êtres vivants qui s'y installent. Pourquoi cette île est elle, à ce sujet, très particulière? (3 pts)
15 - schématisez, titrez et légendez la photo ci-dessus (USGS) prise le 30 novembre 1963 lors de l'émersion de Surtsey. (5 pts)

2 - Un volcan artificiel ? (4 pts)

Vers 1700, le pharmacien Nicolas Lémery veut vérifier l'idée, commune à son époque, selon laquelle le volcanisme est dû à l'action de l'air et de l'eau sur les minéraux des roches. Il fabrique alors un «volcan» artificiel avec de la limaille de fer et du soufre imbibé d'eau. Ce mélange produit beaucoup de chaleur, des projections et des vapeurs. Lémery croit alors avoir trouvé l'explication du mécanisme des éruptions.

21 - Comment s'appelle la démarche suivie par Lémery pour vérifier ses idées ? (1 pt)
22 - Quelles critiques pouvez-vous opposer à son «modèle» de volcan ? (3 pts)

3 - Darkness (4 pts)

A la suite de l'éruption du volcan Tambora, en 1815, en Indonésie, l'auteur anglais lord G. Byron écrit un poème, Darkness, dont voici quelques extraits:

«I had a dream, which was not all a dream.
The bright sun was extinguished, and the stars
Did wander darkling in the eternal space,(...)
Morn came and went – and came, and brought no day,
And men forgot their passions in the dread
Of this their desolation ; and all hearts
Were chilled into a selfish prayer for light :
And they did live by watchfires – and the thrones,
The palaces of crowned kings – the huts,
The habitations of all things which dwell,
Were burnt for beacons ; cities were consumed,
And men were gathered round their blazing homes
To look once more into each other's face ;
Happy were those who dwelt within the eye
Of the volcanos, and their mountain-torch :
A fearful hope was all the world contained ;
Forests were set on fire – but hour by hour
They fell and faded – and the crackling trunks
Extinguished with a crash – and all was black.

D'après les indications données par ce poème, le Tambora est un volcan de quel type ? (justifiez votre réponse, ce qui vous demandera évidemment de traduire un peu, avec un dictionnaire bilingue, cet extrait!)

4 - Dans le cratère (10 pts)

Le 5 janvier 1804, L'écrivain français Chateaubriand, au cours de son voyage à Naples, va visiter le Vésuve en compagnie d'un guide:

«Le Vésuve, séparé par les nuages des pays enchantés qui sont à sa base, a l'air d'être ainsi placé dans le plus profond des déserts, et l'espèce de terreur qu'il inspire n'est point affaiblie par le spectacle d'une ville florissante à ses pieds.

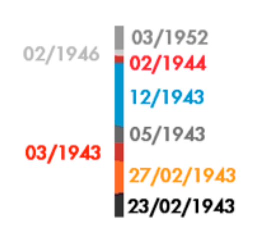
Je propose à mon guide de descendre dans le cratère ; il fait quelque difficulté, pour obtenir un peu plus d'argent.(...). Nous voilà au fond du gouffre. Je désespère de pouvoir peindre ce chaos. Qu'on se figure un bassin d'un mille de tour et de trois cents pieds d'élévation, qui va s'élargissant en forme d'entonnoir. (...)

Des rochers sont suspendus dans quelques parties du contour, et leurs débris, mêlés à une pâte de cendres, recouvrent l'abîme. Ce fond du bassin est labouré de différentes manières. A peu près au milieu sont creusés trois puits ou petites bouches nouvellement ouvertes, et qui vomirent des flammes pendant le séjour des Français à Naples en 1798. Des fumées transpirent à travers les pores du gouffre, surtout du côté de la Torre del Greco. Dans le flanc opposé, vers Caserte, j'aperçois une flamme. Quand vous enfoncez la main dans les cendres, vous les trouvez brûlantes à quelques pouces de profondeur sous la surface (...) La matière volcanique, refroidie sur les rocs vifs autour desquels elle a coulé, forme çà et là des rosaces, des girandoles, de rubans ; elle affecte aussi des figures de plantes et d'animaux, et imite les dessins variés que l'on découvre dans les agates. (...)

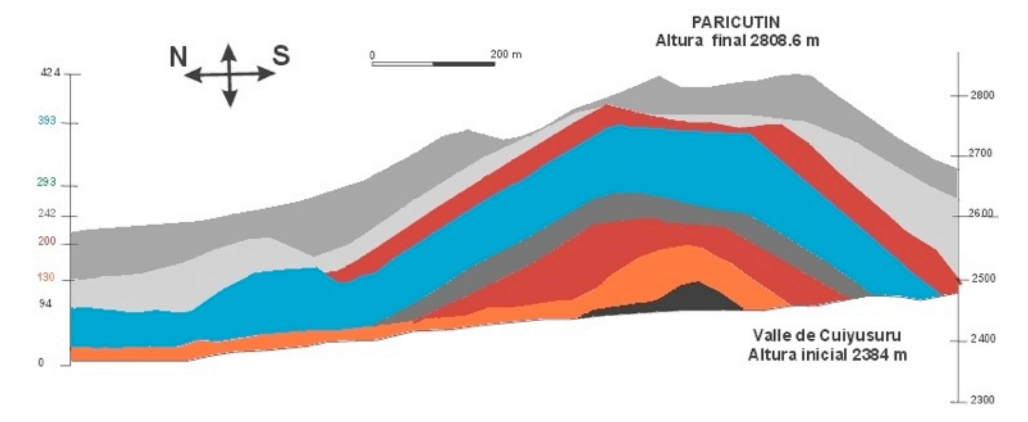
Je retrouve ici ce silence absolu que j'ai observé autrefois, à midi, dans les forêts de l'Amérique, lorsque, retenant mon haleine, je n'entendais que le bruit de mes artères dans mes tempes et le battement de mon cœur. Quelquefois seulement des bouffées de vent, tombant du haut du cône au fond du cratère, mugissent dans mes vêtements ou sifflent dans mon bâton; j'entends aussi rouler quelques pierres que mon guide fait fuir sous ses pas en gravissant les cendres. Un écho confus, semblable au frémissement du métal ou du verre, prolonge le bruit de la chute, et puis tout se tait. Comparez ce silence de mort aux détonations épouvantables qui ébranlaient ces mêmes lieux lorsque le volcan vomissait le feu de ses entrailles et couvrait la terre de ténèbres.»

41 - Quelle est la «ville florissante» dont parle Chateaubriand ? Existe t'elle encore de nos jours ? (2 pts)
42 - Comment se fait-il que l'écrivain puisse, sans risque, descendre dans le cratère et marcher à sa surface ? (3 pts)
43 - Comment expliquer la chaleur du sol et les émissions de gaz ? (3 pts)
44 - Quelles sont les traces d'une activité récente du Vésuve relevées par l'écrivain ? (2 pts)

5 - Croissance et développement (6 pts)



Le graphique ci-dessous (d'après un document de UMSNH) montre, de profil, une coupe des diverses couches qui constituent le volcan Paricutin, au Mexique. Chaque couleur représente le volcan vu de profil à une date précise (ci-contre). L'altitude du volcan par rapport au sol est indiquée à gauche (à droite, altitude par rapport au niveau de la mer).



51 - Combien d'étapes dans la formation du volcan sont elles ici visibles ?

52 - En combien de temps l'altitude actuelle a t'elle été atteinte?

53 - La croissance du volcan est elle régulière ? Comment sa forme a t'elle évoluée ?

6 - Témoignage (4 pts)

Le 18 juin 1902, J. Thierry, qui a été témoin de la destruction de la ville de St Pierre lors d'une éruption de la montagne Pelée, écrit dans une lettre:

«Je vous dirai seulement que j'ai vu du morne rouge (...) le matin du 8 mai, le ciel était admirablement pur (...) je vis une gerbe de rochers sortir du cratère (...) En même temps, un bruit formidable, comme je n'en ai jamais entendu ni supposé et, sur les cotés de la gerbe, dont je ne pouvais plus voir le centre, qu'emplissait une fumée épaisse, je vis d'énormes rochers qui, suivant toujours la même direction, filaient sur St Pierre avec une vitesse énorme, laissant derrière eux une sorte de traînée qui se profilait en noir sur la blancheur intérieure du nuage. Tout cela en moins de temps qu'il ne faut pour le dire (...) presque instantanément un nuage épais couvrit l'espace compris entre le cratère et la ville.»

61 - D'après ces indications, la montagne Pelée appartient à quel type de volcan ? (2 pts)

62 - Quel est le phénomène observé par J. Thierry ? (2 pts)

7 - Le dernier né (5 pts)

Début novembre 1978, dans la région de Djibouti, à l'est de l'Afrique, 800 petits séismes (de magnitude voisine de 3) se produisent en un jour à 6 km de l'Ardoukôba, où des gaz volcaniques ne tardent pas à s'échapper du sol. Une fissure de 500m de long s'ouvre dans sol, et de la lave fluide en sort à trois endroits, construisant trois cônes volcaniques produisant de la lave, des gaz et de projections de roches solidifiées.

71 - Comment expliquer que les foyers des nombreux séismes détectés aient été éloignés de 6 km du futur volcan ? (3 pts)

72 - D'après les indications, fournies, à quel type de volcans appartient l'Ardoukôba ? (2 pts)

8 - Au sommet du paradis. (2 pts)

En 1866, l'écrivain américain Mark Twain (auteur de Tom Sawer, croc-blanc, l'appel de la forêt...) décrit son voyage sur le volcan Kilauea, alors en éruption, dans les îles Hawaii. Au début du passage suivant, il se trouve près du sommet du volcan et décrit le paysage qu'il domine:

« La plus grande partie du désert qui s'étendait au-dessous de nous était aussi noir que de l'encre et apparemment lisse et plat mais, sur plus d'un quart de mille, il était creusé, crevassé et strié de mille ruisseaux de feu liquide ! On aurait dit une carte du chemin de fer de l'Etat de Massachusetts de dimension colossale, dessinée par une succession d'éclairs sur un ciel de minuit. Imaginez cela, imaginez un ciel de nuit noire transformé en ce réseau torturé, frémissant de flammes furieuses. De-ci de-là, des trous luisaient, chacun d'une centaine de pieds de diamètre, dans la croûte noire de la lave, où bouillait et ondulait furieusement la matière en fusion, d'un blanc étincelant à peine teinté de jaune — parfois giclait dans toutes les directions, en torrents de lumière, tels les rayons d'une roue, qui gardaient un moment un cours assez droit, puis prenaient la forme d'immenses arcs-en-ciel, ou faisaient une série de zigzags violents, semblables à des déchirements féroces d'éclairs.»

D'après les indications notées par Mark Twain, à quel type de volcans appartient le Kilauea ? (vous justifierez votre réponse en citant quelques extraits du texte) (2 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/Les volcans ont une forme conique car ils se forment par accumulation de matériaux rejetés au niveau du cratère. Hors, une accumulation de matériaux prend spontanément une forme conique (pensez aux tas de sable).

2/Une nuée ardente est une avalanche de gaz mêlé à des cendres, d'une température de plusieurs centaines de degrés C, et se déplaçant à plusieurs centaines de km/h. Elle est formée par l'effondrement d'un panache volcanique qui s'est assez refroidi pour ne plus pouvoir s'élever naturellement

3/Pendant une éruption, les produits émis par les volcans sont les gaz, les cendres (fines particules minérales) et des roches sous forme de fragments (lapilli, bombes...) et/ou de matière minérale en fusion (laves)

4/On distingue deux types d'éruptions volcaniques:

- les éruptions effusives, avec émission de lave et de gaz
- les éruptions explosives, avec émission massive de gaz et de cendres, et formation de nuées ardentes.

Ces divers types sont liés à la viscosité du magma (les magmas visqueux étant liés au volcanisme explosif, les fluides à l'effusif)

5/La chambre magmatique est une zone située à quelques km sous le volcan dans laquelle le magma, qui provient de zones plus profondes, se stocke et se transforme entre deux éruptions.

COLLES

1/ On a donné à ce qui alimente les volcans un nom dérivé d'un mot signifiant «pâte» parce que l'observation la plus spectaculaire de ce qui sort d'un volcan est la coulée de lave, qui se comporte comme une «pâte» qui s'écoule lentement hors du volcan. On pouvait donc penser logiquement que ce qui remontait dans le volcan était aussi une espèce de pâte, un «magma». (2 pts)

2/ F. Fouqué déduit de sa découverte qu'il a trouvé une preuve que les volcans se construisent par dépôts successifs de matériaux, car les traces archéologiques qu'il trouve sont recouvertes par les matériaux qui constituent le volcan. Cela signifie que les anciens habitants de l'île se sont installés à cet endroit avant que le volcan ne recouvre leur campement. Le volcan s'est donc développé après que les anciens habitants se soient installés, ce qui signifie donc que le volcan s'est construit de façon à recouvrir le site archéologique: cela ne peut s'expliquer que si l'édification du volcan est progressive, et ne provient pas, comme on le croyait parfois à l'époque, d'un gonflement du sol (4 pts).

3/ Tableau comparant les volcans effusifs et explosifs.

Volcan	effusif	explosif
magma	fluide	pâteux
produits émis lors de l'éruption	laves et gaz	Cendres, poussières, gaz
conséquences	coulées de lave	nuées ardentes
dangerosité	faible	forte

EXERCICES

1 - Une terre nouvelle (16 pts)

11- L'éruption n'a pas été découverte immédiatement, car elle a commencé sous 130 m d'eau, ce qui a caché ses manifestations. (1 pt)

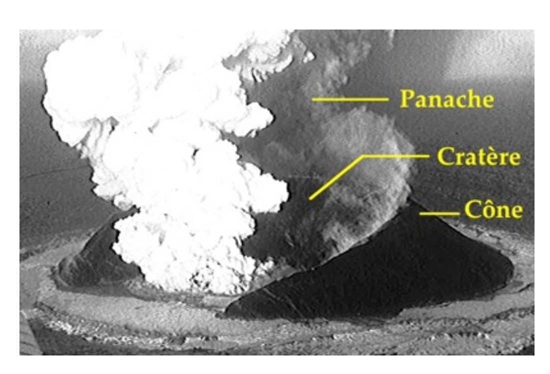
12 - Les secousses sismiques détectées à Reykjavik correspondaient aux cassures des roches réalisées par le magma au cours de sa remontée vers la surface (2 pts).

13 - On peut répondre à cette question par un texte, mais aussi par une suite de schémas décrivant l'évolution du volcan (un peu comme une BD). Voici la version «texte» de cette réponse:

On peut reconstituer ainsi le déroulement des événements:

- 1 - le magma en remontant casse des roches et provoque des secousses sismiques (7 novembre).
- 2 - les gaz parviennent à la surface, ils réchauffent l'eau et s'y dissolvent. Quelques gaz sortent de l'eau, et leur odeur est détectée par les habitants du port (12 novembre).
- 3 - Le magma parvient à la surface (du sol, sous l'eau) et s'accumule pour former un cône qui se rapproche alors de plus en plus de la surface de l'océan. Les gaz émis plus proche de la surface de l'eau n'ont plus le temps de se dissoudre, ils sortent de l'eau, avec des cendres, en formant le panache vu par le cuisinier (14 novembre).

14 - l'île de Surtsey est sortie de l'océan en 1963. Aucun être vivant terrestre ne pouvait donc y résider. C'es donc un laboratoire naturel pour étudier comment les êtres vivants peuvent coloniser de nouvelles terres. C'est pour cela que de rares scientifiques y vont pour observer les êtres vivants qui s'y installent.



15 - Titre: **sortie de l'eau de l'île volcanique de Surtsey.**

Votre schéma doit être légendé au minimum avec les termes indiqués en jaune.

2 - Un volcan artificiel ? (4 pts)

21 - La démarche suivie par Lémery pour vérifier ses idées est la démarche expérimentale. Lémery a construit un modèle de volcan qui reproduit le comportement d'un vrai volcan (enfin, il le pense). (1 pt)

22 - Le «modèle» de volcan de Lémery peut être critiqué sur plusieurs points, mais il ne faut pas oublier qu'il date de 1700, et qu'à cette époque les connaissances sur les volcans étaient assez peu nombreuses, et que peu des gens avaient voyagé sur les volcans eux-mêmes!

Lemery utilise de la limaille de fer. Malheureusement, et contrairement au soufre, la limaille ne se trouve pas dans la nature. Il faudrait que les éruptions se produisent uniquement au niveau de mines de fer très pur, et même en 1700 il était évident que ce n'était pas le cas. De plus, les produits formés, s'ils peuvent être satisfaisants pour les gaz (les volcans dégagent bien de la vapeur), ne peuvent pas reproduire les roches que l'on trouve après une éruption.

3 - Darkness (4 pts)

Dans le poème de Byron, deux idées, deux images reviennent sans cesse: le feu (the thrones, the palaces of crowned kings – the huts, the habitations of all things which dwell, were burnt for beacons ; cities were consumed, forests were set on fire) et l'obscurité (they did live by watchfires, the bright sun was extinguished, prayer for light, all was black, et Morn came and went – and came, and brought no day = le matin est venu, reparti, revenu, et n'a apporté aucun jour).

Si on ne se base que sur le feu, on peut penser à des coulées de lave, mais l'obscurité persistante ne s'explique que si le Tambora était un volcan de type explosif ayant projeté suffisamment de cendres et de poussières pour cacher le soleil. Les incendies sont liés aux nuées ardentes qui dévastent le paysage.

Note: *L'éruption du Tambora a été la plus meurtrière de l'histoire, faisant plus de 65000 victimes. Elle perturba fortement le climat de la planète pendant plusieurs années. Son intensité est de 8 fois celle de l'éruption du Vésuve en 79, et l'explosion du volcan a été entendue à 1400 km de distance.*

4 - Dans le cratère (10 pts)

41 - Il y a une seule grande ville, active et donc florissante, au pied du Vésuve: c'est Naples. Elle existe encore de nos jours (Chateaubriand écrit en 1804, vous ne pouviez donc pas vous tromper avec Pompei, détruite 1725 ans avant).

42 - L'écrivain peut, sans risque, descendre dans le cratère et marcher à sa surface car le cratère d'un volcan, en dehors d'une période éruptive, est comblé par des roches solides, au travers desquels peuvent éventuellement s'infiltrer les gaz d'origine magmatique profonde. Ces roches peuvent être chauffées par les gaz et la proximité di-u magma, mais il est tout à fait possible de s'y aventurer

sans risques (les «lacs de lave» présents dans les cratères sont exceptionnels et ne concernent que quelques volcans dans le monde).

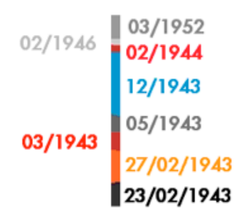
43 - La chaleur du sol s'explique par la présence de gaz: ces derniers ont une origine profonde, ils sont sous pression et remontent lentement, en s'infiltrant parmi les roches, depuis le magma lui même. Ces gaz sont donc très chauds, et ils chauffent les roches qu'ils traversent, y compris celles qui sont proches de la surface.

De plus, même si la dernière éruption est lointaine, l'énorme volume de roche constituée par le magma solidifié dans la cheminée et dans le cratère prend énormément de temps pour se refroidir, et conserve sa chaleur plusieurs dizaines d'années, voire davantage.

44 - Chateaubriand relève les traces suivantes d'une activité récente du Vésuve:

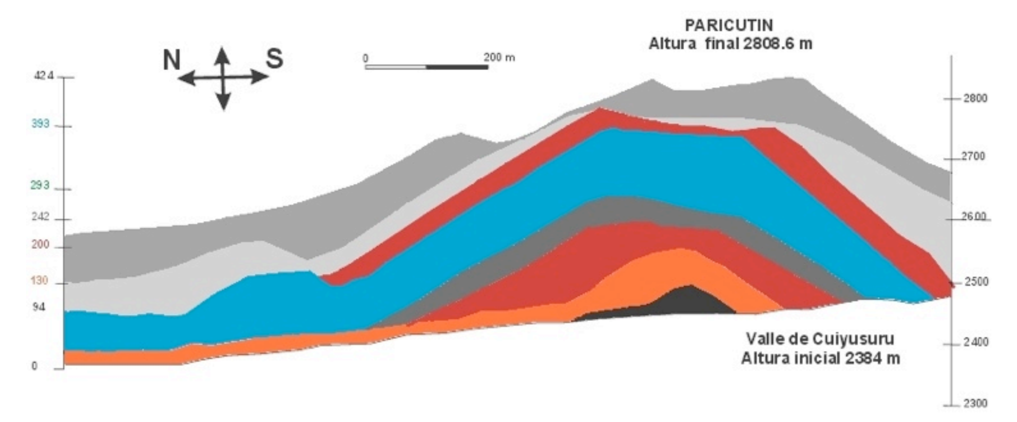
- présence de rochers encore en équilibre sur les bords du cratère: *«Des rochers sont suspendus dans quelques parties du contour, et leurs débris, mêlés à une pâte de cendres, recouvrent l'abîme.»*
- Ouvertures créées lors d'éruptions récentes: «*trois puits ou petites bouches nouvellement ouvertes, et qui vomirent des flammes pendant le séjour des Français à Naples en 1798*» soit 7 ans seulement avant la visite de l'écrivain.
- dégagement de gaz, certains étant même inflammables: «Des fumées transpirent à travers les pores du gouffre» et «Dans le flanc opposé, vers Caserte, j'aperçois une flamme.»
- Très faible refroidissement du cratère: «Quand vous enfoncez la main dans les cendres, vous les trouvez brûlantes à quelques pouces de profondeur sous la surface»

5 - Croissance et développement (6 pts)



51 - Le graphe représenté permet de compter huit étapes principales d'accumulations de matériaux volcaniques.

52 - L'altitude actuelle a été atteinte entre le 23 février 1943, date de naissance du volcan, et le mois de mars 1952. Il a donc fallu 9 ans environ pour que se construise le volcan sous sa forme actuelle.



53 - La croissance du volcan n'est pas régulière puisqu'elle se produit par épisodes, les éruptions, dont l'intensité n'est pas toujours la même.

La forme du volcan a évoluée de plusieurs façon, soit par empilement de matériaux, soit par formations de coulées ou de glissements de terrain vers le Nord. Ainsi, dès le 27/02/1943, on voit que le volcan s'étend vers le nord en même temps que son altitude augmente.

Jusqu'en mai 1943, son altitude ne fait qu'augmenter, par empilement de matériaux volcaniques.

En décembre 1943 se produit sa plus forte croissance, et vers le Nord il s'étend et recouvre les coulées misées en place en Février de la même année. En Février 1944, le Paricutin augmente son altitude, les deux épisodes suivants s'accompagnant de l'accumulation de matériaux vers le Nord, le tout sur une épaisseur de 200 m environ.

6 - Témoignage (4 pts)

61 - J. Thierry nous donne les indications suivantes: *un bruit formidable, une fumée épaisse, d'énormes rochers, une sorte de traînée qui se profilait en noir sur la blancheur intérieure du nuage, un nuage épais.* Il ne parle jamais de lave ou de coulées, et on peut donc en déduire que la montagne Pelée est un volcan de type explosif.

62 - J. Thierry décrit ainsi ce qu'il observe: «*d'énormes rochers (...) filaient sur St Pierre **avec une vitesse énorme**, laissant derrière eux une sorte de **traînée** (...) Tout cela **en moins de temps qu'il ne faut pour le dire** (...) presque i**nstantanément** un **nuage épais couvrit l'espace compris entre le cratère et la ville**.»* Il s'agit donc d'une avalanche rapide de gaz et de roche surchauffés. Ce phénomène correspond donc à la description d'une nuée ardente qui descend rapidement du volcan et va détruire la ville de St Pierre.

7 - Le dernier né (5 pts)

71 - Les foyers des nombreux séismes détectés sont situés sur le parcours suivi par le magma au cour de son ascension. En brisant les roches qu'il rencontre, le magma déclenche des séismes. Toutefois, le magma, dans sa remontée, ne «creuse» pas els roches en ligne droite: il suit les fissures et les irrégularités du sous sol, -s'infiltre dans les cassures et les failles présentes. Il peut donc parfaitement effectuer sa remontée «en biais» et parvenir à la surface à plusieurs Km de l'endroit ou, en profondeur, on détecte son ascension.

72 - Les indications, fournies nous apprennent que de la lave fluide sort de fissures dans le sol, alors que se construisent des cônes volcaniques: comme il y a production de coulées de lave, nous sommes dans le cadre d'u volcanisme de type effusif.

8 - Au sommet du paradis. (2 pts)

Dans son texte de 1866, Mark Twain nous donne les indications suivantes: il nous parle de «*mille ruisseaux de feu liquide»* et d'un *« réseau torturé, frémissant de flammes furieuses.».* Il s'agit donc là de la description d'un volcan de type effusif.
Ce type de volcanisme est confirmé lorsque M. Twain décrit directement els coulées de lave: « *la croûte noire de la lave, où bouillait et ondulait furieusement la matière en fusion, d'un blanc étincelant à peine teinté de jaune».*

Note: Le Kilauea est un des volcans les plus actifs du monde, il est, actuellement, en éruption depuis.... 1983!

Glossaire

Le Fuji Bleu- extrait - K Hokusai, 1831.


Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donnés ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Abbé: grade religieux

accalmie: moment de calme

amiral: celui qui commande une flotte de plusieurs navires

Bombe: gros morceau de roche projeté par un volcan et qui s'écrase sur le sol après avoir créé un sifflement dans l'air.

Cendres: fines particules minérales, qui flottent facilement dans l'air, émises au cours d'une éruption.

Chambre magmatique: Réservoir profond de magma, a quelques km sous le volcan

cône: forme prise par l'accumulation de matériaux qui forme un volcan.

Coulée : «rivière» de lave s'écoulant graduellement à partir d'un cratère ou d'une fissure d'un volcan effusif.

Cheminée : suite de fractures dans la roche formant un conduit par lequel le magma atteint la surface.

Cratère : dépression en forme de bol située au sommet d'un volcan.

Dissous: ici, se dit d'un gaz présent dans liquide sans y être visible (les sodas contiennent du CO_2 dissous)

Emigrer: partir vers un autre pays.

épanchée: qui coule

érodé: usé par l'érosion

éruptives: qui viennent d'une éruption

Fracas: grand bruit

fracturer: casser

fumerolles: petites émissions de gaz, colorées, le plus souvent sur les pentes ou dans le cratère d'un volcan.

Graduellement: petit à petit.

Incandescente: si chaude qu'elle émet de la lumière.

indécise (lueur): faible lumière dont l'intensité change vite, comme une bougie dans le vent.

Jalonner: marquer à intervalle régulier.

Jésuite : religieux catholique

Lapilli: petit morceau de roche provenant du magma, d'une dimension voisine ou inférieure au centimètre

Lave: matière minérale en fusion qui a perdu l'essentiel de ses gaz dissous.

Lieue : ancienne unité de distance valant environ 4 km.

Magma: Mélange de matière minérale en fusion et de gaz dissous.

Minutieuse : précise

minéral: qui a un rapport avec les roches.

Mythologie : ensemble des légendes racontant l'histoire des mythes.

Nuée ardente: avalanche très rapide de gaz et de poussières très chaudes (300 °C).

Panache: colonne de poussières et de gaz qui surmonte un volcan en éruption.

philosophe: penseur, homme qui réfléchit et souvent enseigne ses idées.

Sinueux: qui fait des détours, qui n'est pas droit.

s'insinuer: pénétrer peu d'abord, puis de plus en plus.

Sourdes (explosions): avec un son grave (pas aigu).

successives: les unes après les autres.

Vestiges: restes en mauvais états, traces, ruines.

Autour des volcans...

Mont Fuji avec cerisiers en fleur - extrait - K Hokusai, 1831.

Idées de voyage

Parc naturel des Volcans d'Auvergne, France
le Vésuve et la région de Naples, en Italie
Ile de Lanzarote, dans les Canaries
Le pic de Teide, Tenerife , Canaries
Ile de la Réunion, dans l'océan Indien
Parc naturel de Yellowstone, USA
L'Islande

Idées de lecture

L'île mystérieuse de Jules Verne, est un merveilleux roman qui se termine par la description d'une éruption exceptionnelle.

A Pompéi sous l'Empire romain : Flavia Pompéi an 79
est un petit livre qui se présente comme le journal d'une adolescente de Pompéi. C'est un livre pour les plus jeunes, mais il est excellent.

Pompéi, Roman de R Harris, raconte l'histoire d'un jeune ingénieur responsable de l'approvisionnement en eau de la ville qui enquête sur d'étranges phénomènes, et subit l'éruption du Vésuve...

Idées de films

Le pic de Dante, de R. Donaldson, 1997
Les derniers jours de Pompéi
- Film de 1959 (avec de nombreuses erreurs!)
- documentaire P. Nicholson, 2003, BBC

Krakatoa - docudrama, S. Miller, 2006
Yelowstone supervolcan, BBC, 2005

Google earth **Mots clé: Parque Teide, yellowstone, Islande.**

Dédicace



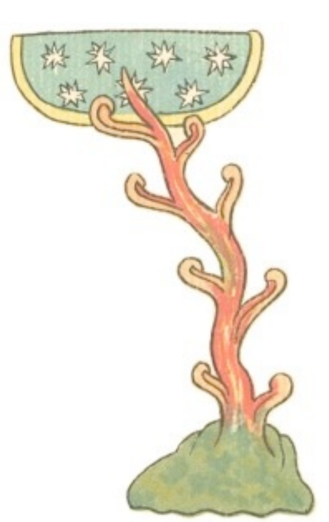
Ce chapitre est dédié au couple de vulcanologues Maurice et Katia Krafft, morts le 3 juin 1991 sur les pentes du Volcan Unzen, au Japon, alors qu'ils essayaient d'améliorer nos connaissances sur le volcanisme. Photo USGS.

Poème

Les volcans n'ont pas inspiré que les peintres. Voici par exemple un texte de José Maria de Heredia (1842-1905), célèbre poète français, tiré de son livre Les Trophées (1893):

Fleur séculaire

Sur le roc calciné de la dernière rampe
Où le flux volcanique autrefois s'est tari,
La graine que le vent au haut Gualatieri
Sema, germe, s'accroche et, frêle plante, rampe.
Elle grandit. En l'ombre où sa racine trempe,
Son tronc, buvant la flamme obscure, s'est nourri ;
Et les soleils d'un siècle ont longuement mûri
Le bouton colossal qui fait ployer sa hampe.
Enfin, dans l'air brûlant et qu'il embrase encor,
Sous le pistil géant qu'il s'érige, il éclate,
Et l'étamine lance au loin le pollen d'or ;
Et le grand aloès à la fleur écarlate,
Pour l'hymen ignoré qu'a rêvé son amour,
Ayant vécu cent ans, n'a fleuri qu'un seul jour.



Représentation Aztèque d'une éruption du volcan Popocatepetl, vers 1509.



甲州犬目峠 - *Le col d'Inume dans la province de Kai.*

Hokusai - 36 vues du mont Fuji, 1830

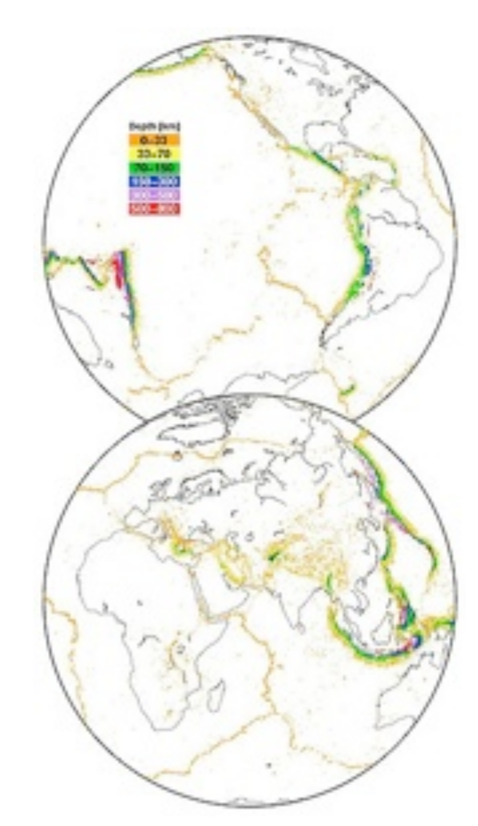
3 - La partie externe de la Terre est formée de plaques mobiles

Les régions volcaniques et les régions sismiques forment les zones géologiquement actives de la Terre

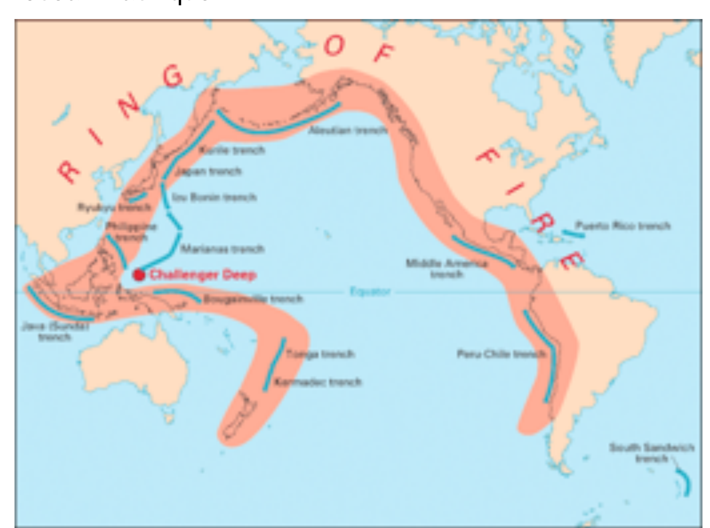
L'activité de la Terre se manifeste par des séismes (chap. 1) et du volcanisme (chap.2). Dès la Renaissance, lorsque l'exploration de la Terre était réalisée par plusieurs nations d'Europe, des cartes mentionnèrent l'emplacement des volcans, phénomènes ô combien spectaculaires. La première de ces cartes de répartition a été réalisée par le scientifique A. Kircher en 1675. Elle sera suivie de nombreuses autres, plus précises, dont celles réalisées en 1855 par le géologue Allemand L. Von Buch, mais il faudra attendre la seconde moitié du vingtième siècle pour que puisse être pris en compte le peu visible volcanisme sous marin, dont personne n'avait soupçonné l'importance.

A la même époque que Von Buch, l'ingénieur et géologue R. Mallet, ayant perfectionné les sismographes et étudié le déplacement des ondes sismiques, publia la première carte sismique du monde en 1846. Ici aussi, ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que des nations mirent en place un important réseau de sismographes perfectionnés dans le but de détecter les explosions nucléaires souterraines (125 furent installés en 1957 et 1958). Il fut alors plus facile d'obtenir des cartes précises de la répartition des séismes dans le monde.

La répartition des deux types d'événements est présentée sur les deux cartes ci-contre. On constate immédiatement que **les séismes et les volcans ne se répartissent pas au hasard**: ils dessinent sur le globe des lignes relativement étroites. Quels sont les reliefs particuliers présents au niveau de ces lignes, de ces zones volcaniques et sismiques? Pour le savoir, examinons plus en détail une de ces zones, celle qui entoure le grand océan Pacifique.



Carte représentant la répartition mondiale des séismes.
Les différentes couleurs correspondent à la profondeur des foyers. On constate immédiatement que les séismes ne se répartissent pas au hasard, mais selon des lignes sinueuses au parcours précis.
Carte USGS.



Une disposition particulière, la «ceinture de feu» du Pacifique

Près de 80% des séismes se produisent sur les rives du Pacifique, qui contiennent également de nombreux volcans. Cette zone très active a été appelée Ceinture de Feu (en anglais, The Ring of Fire - *ci contre, carte USGS*) à cause de ses nombreux volcans actifs.

Sur le plan géographique, cette zone se caractérise par des **montagnes élevées** (comme la cordillère des Andes) contenant de **nombreux volcans**, des **îles volcaniques** (comme le Japon) et, **sous la mer, des fosses très profondes**, comme la fosse des Mariannes. Ces différents sites sont les lieux où se produisent les séismes les plus spectaculaires et les volcans les plus actifs de la Terre.



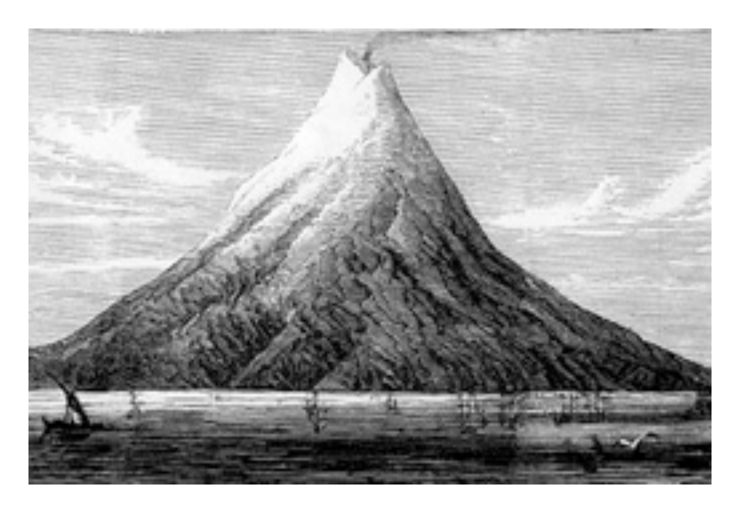
Localisation des différents types de volcanisme sur Terre.
Ici aussi, la répartition ne doit rien au hasard: on trouve des volcans disposés en «lignes» ainsi que quelques-uns, plus isolés. Leur répartition est similaire à celle des séismes (voir texte). Carte USGS.

Un volcan de la Ceinture de Feu : le Krakatoa

Le volcan Krakatoa est situé dans un archipel qui est entre les îles de Sumatra et Java, en Indonésie. Il a été l'objet d'une éruption spectaculaire en 1883, qui a causé plus de 36 000 morts.

Dès le mois de mai 1883, des panaches de vapeur et de cendre, de plus en plus épais, sont observés au-dessus de l'archipel. Le bruit produit par l'éruption est audible jusqu'à Jakarta. Les bateaux qui continuent de naviguer dans le détroit de la Sonde, à proximité du volcan, peuvent rester dans l'ombre durant plusieurs heures. Le 26 août 1883 débute la phase la plus violente de l'éruption. Plusieurs explosions, audibles à des dizaines de kilomètres à la ronde, se produisent. Les cendres recouvrent la région jusqu'à 160 km du volcan, plongeant la région dans une nuit totale. Le 27 aout, à 10h, le volcan explose, causant le bruit le plus fort jamais entendu par des humains: on l'entend à plus de 4000 km de distance. Dans la nuit et le jour qui suit, plusieurs tsunamis dévastent les régions alentour. Des vagues de plus de 40 mètres sont enregistrées à proximité de l'île, détruisant la ville de Merak et le grand port de Teluk Betung. L'activité du volcan se poursuit durant plusieurs mois. Il finit par s'arrêter en octobre et aucune nouvelle éruption ne se produit avant 1916.

Au pied du volcan, des pierres ponces et des cendres sont retrouvées en grande quantité. Le panache de cendres déversées dans l'atmosphère a conduit à une baisse de la température sur la Terre durant quelques années après l'éruption. Les couchers de soleil se sont, partout dans le monde, parés de teintes rougeoyantes à cause de la poussière volcanique en suspension dans l'air.

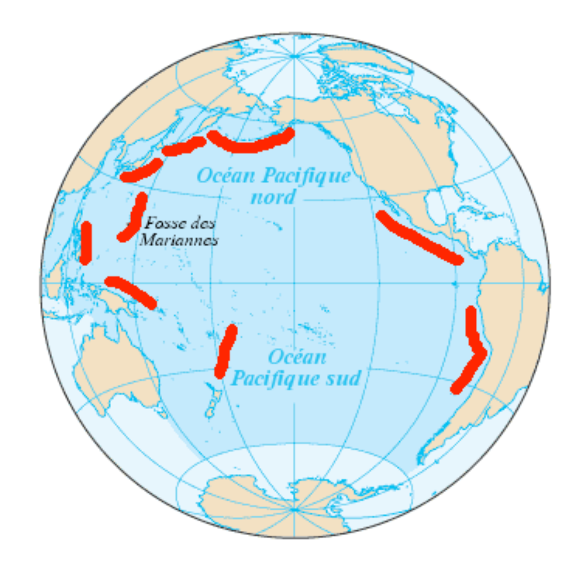


***Aspect du volcan Krakato**a au début du XIXe siècle, avant son éruption dévastatrice.*

La fosse des Mariannes, le point le plus bas de la Terre.

La fosse des Mariannes, au sud-est du Japon, est l'endroit le plus profond de la Terre : son point le plus bas est situé à 11 000 m de profondeur. Cette **<u>fosse océanique</u>** a été découverte en 1875, lors de la première grande campagne océanographique mondiale, qui a été réalisée par une équipe de scientifiques à bord d'un navire britannique, le HMS Challenger. Le but de cette expédition était d'étudier les animaux vivants en pleine mer, ainsi que de comprendre la circulation des eaux dans les océans. Cette expédition permit également d'accumuler des données sur la composition de l'eau de mer, et de donner une idée plus précise des fonds sous-marins dont la profondeur fut mesurée à 492 endroits. C'est en l'honneur de cette exploration que le point océanique le plus profond, situé à l'extrémité sud de la Fosse des Mariannes, à une profondeur de 10 923 m, découvert en 1951, a été appelé Challenger Deep (deep signifie profondeur, en anglais).

Le 23 janvier 1960, le Trieste, un sous-marin particulier, adapté aux énormes pressions des grandes profondeurs, nommé bathyscaphe, a permis à deux hommes, l'ingénieur J. Piccard et le Lt Don Walsh, de descendre sur le fond de la fosse des Mariannes, où règne une pression de 1156 hPa. Ils y ont découvert, contre toute attente, des animaux vivants. Depuis, l'exploration de ces grandes profondeurs est majoritairement accomplie par des robots pilotés depuis la surface.



***Localisation des fosses océaniques** (en rouge) dans le Pacifique.*

***Questions rapides:** À partir des informations données par ce texte, donnez les caractéristiques de l'éruption du volcan Krakatoa. A quel type de volcanisme appartient-il ?*
Où sont situées les fosses océaniques ? En comparant avec les cartes de la page précédente, pouvez-vous établir une corrélation entre l'emplacement des fosses sous-marines et la localisation des phénomènes géologiques ?

Les séismes en bordure du Pacifique

La ceinture de Feu du Pacifique est une région où se produisent de nombreux séismes. Les zones densément habitées, comme le Japon, la côte ouest des États-Unis ou le Chili sont celles où les dégâts sont les plus importants. Depuis le début du XXIe siècle, plusieurs puissants séismes s'y sont produits. Le 11 mars 2011, un tremblement de terre de magnitude 9,0 sur l'échelle de Richter se produisit au large des côtes Nord-Est d'Honshu, l'île principale de l'archipel japonais. Ce séisme, suivi d'un tsunami dévastateur, a conduit au déplacement de l'île de 2,4 m, avec un déplacement maximal horizontal de 4 m et vertical de 70 cm par endroits.

En 1995, le Japon avait connu un autre séisme important, dans la ville de Kobe. Le foyer du séisme se trouvant sous le port de Kobe, les dégâts avaient également été très importants.

La côte ouest des États-Unis est également une zone sismique densément peuplée. La **faille** de San Andreas, en Californie, est un ensemble de plusieurs petites failles qui s'étale sur 1 300 km et passe par Los Angeles et San Francisco. En 1906, un séisme sur cette faille a causé la mort de 3000 personnes et a rasé cette dernière ville. Plus récemment, en 1986, un séisme de magnitude 7,1 a tué 63 personnes et en a blessé 3757.

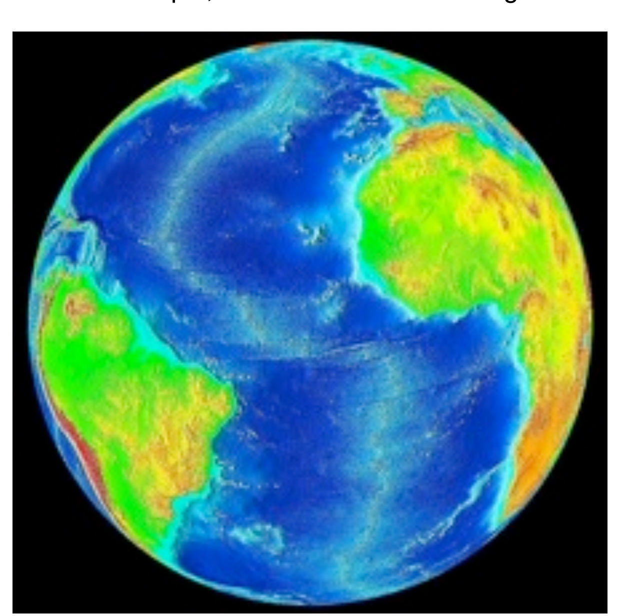


Faille de San Andreas, *dans la plaine de Carrizo, en Californie. Photo ?*

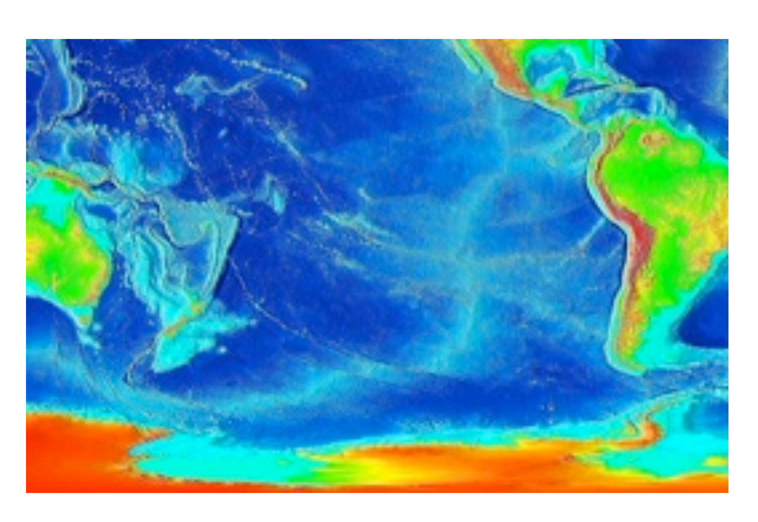
En quittant maintenant les rives du Pacifique, nous allons rencontrer un relief sous-marin qui est le lieu de fréquents séismes et d'un volcanisme intense, mais dont l'emplacement a retardé la découverte à la fin du 19e siècle, et dont l'importance n'a été pleinement comprise qu'un siècle plus tard: les dorsales.

Des chaînes de montagnes sous-marines insoupçonnées: les dorsales

Au cours de son expédition de 1875, l'équipage du Challenger avait aussi découvert qu'il existait, au milieu de l'Atlantique, une chaîne de montagnes sous-marine. Après la Seconde Guerre mondiale, une équipe de scientifiques regroupant B. Heezen, M. Ewing (qui a mis au point la technique qui utilise des ondes sismiques pour explorer la composition des fonds marins) et M. Tharp, découvrit que ces montagnes étaient secouées par de fréquents séismes. Ewing et Heezen découvrirent aussi, en 1950, après avoir réalisé des mesures sous tous les océans du monde grâce à leur navire de recherche le Verna, que cette chaîne de montagnes se poursuivait sous tous les océans, formant un ensemble à peu près continu de 40000 km de long. Lorsque les sommets de ces montagnes, passées jusqu'alors inaperçues, dépassent de l'océan, ils forment des îles avec une activité volcanique effusive intense (Islande). Ces chaînes de montagnes ont été appelées, à cause de leur forme, des **dorsales**.



Ci-contre : sur cette reconstitution, la dorsale située au milieu de l'Atlantique montre bien qu'elle court d'un pôle à l'autre. Photo USGS.



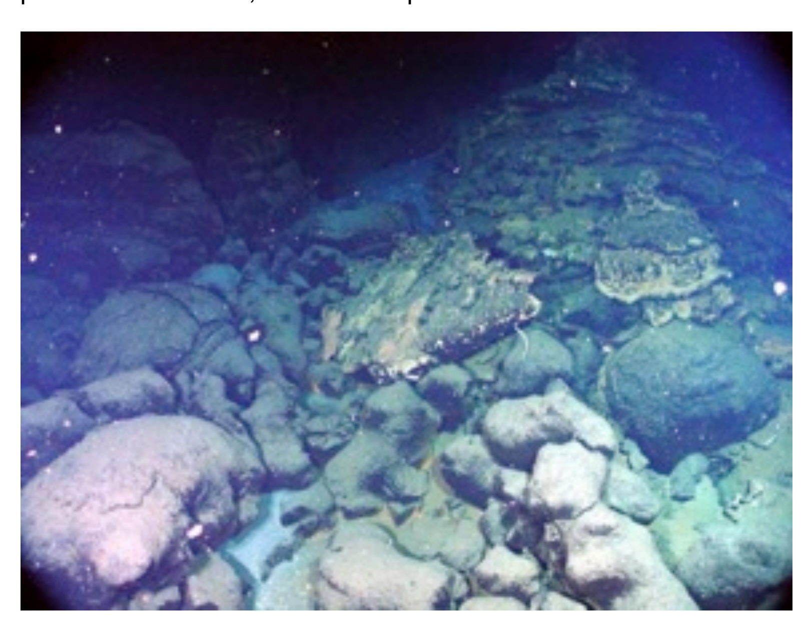
Sur cette reconstitution en fausses couleurs, la principale dorsale sous-marine du Pacifique apparaît sous la forme d'une longue ligne sinueuse bleu clair allant du sud de l'Australie jusqu'en Amérique centrale. Photo USGS.

La répartition des zones géologiquement actives de la Terre

Les zones géologiquement actives ne sont pas réparties au hasard sur Terre. Elles sont principalement localisées :

- au milieu de certains océans, comme l'Océan Atlantique ou l'Océan Indien (observable lorsque des îles sont situées sur le trajet de la dorsale, comme c'est le cas pour l'Islande ou la petite île de Tristan da Cunha).
- En bordure d'océan (surtout le Pacifique), au niveau de chaînes de montagnes (comme à l'ouest du continent américain, dans les Andes et les montagnes Rocheuses)
- dans certains archipels, comme le Japon ou les Antilles
- dans certaines chaînes de montagnes récentes, comme les Alpes ou l'Himalaya.

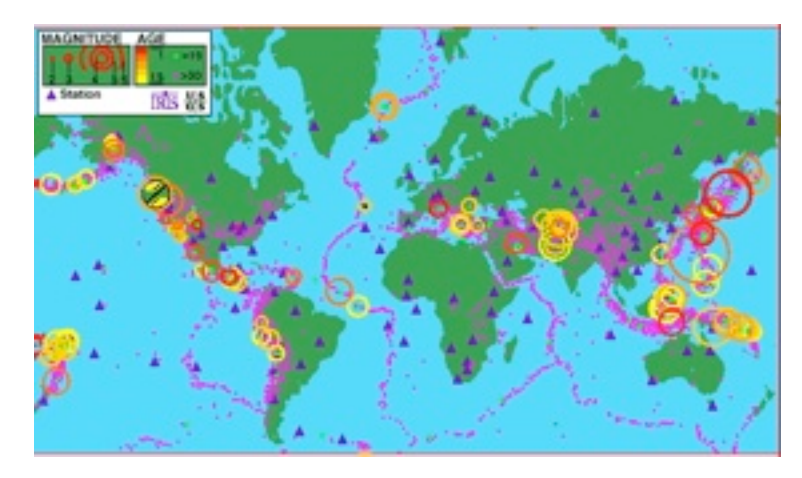
Ces zones géologiquement actives sont caractérisées à la fois par **des séismes**, d'intensité variable, et par du **volcanisme**, effusif ou explosif.



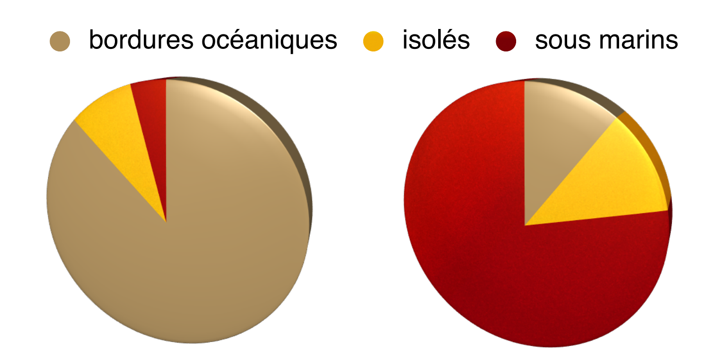
L'activité géologique au milieu des dorsales se caractérise par des séismes fréquents, mais de faible intensité, ainsi que par du volcanisme effusif. Sous l'eau, la pression empêche les gaz émis d'atteindre la surface, et l'écoulement de la lave se fait en formant des «tubes» semblables à des traversins, ou des «boules» qui ont valu à ces laves particulières le nom de laves «en coussin» (*voir ci-contre, laves en coussin au niveau de l'axe d'une dorsale, photo NOAA*).

En revanche, en bordure d'océan, que ce soit au niveau de chaînes de montagne ou d'archipels, les séismes sont plus violents et le volcanisme est explosif. Dans les chaînes de montagnes récentes, il y a rarement du volcanisme. Les séismes sont d'intensité plus ou moins importante.

La répartition de ces zones géologiquement actives montre donc que **l'activité de la Terre est concentrée dans certaines régions particulières**. Le relief de ces régions est le témoin et la conséquence de l'activité géologique.



Localisation des séismes (points violets) et des éruptions volcaniques (cercles de diamètre croissant selon l'importance de l'éruption) entre 1994 et 1999. On constate facilement que séismes et volcanisme sont localisés au niveau des mêmes zones précises de la surface terrestre. D'après un schéma USGS (les triangles signalent l'emplacement des stations d'études sismiques).

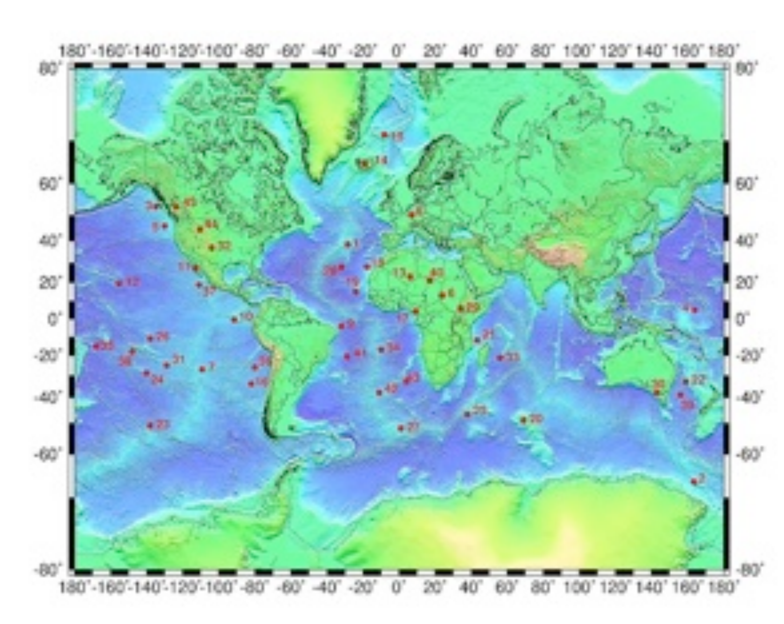


***Importance observée historiquement** (à gauche) **et réelle** (à droite) **des différents sites de volcanisme**. Le volcanisme sous-marin est si discret qu'il a été très fortement négligé. Dans la réalité, ses éruptions «invisibles», au niveau des dorsales, sont responsables de la plus grande partie de la production de laves. Schéma RR d'après Simkin & Siebert, 1994.*

Quelques volcans actifs sont isolés

Certains volcans sont isolés des grandes régions géologiquement actives. Ces volcans sont appelés volcans de **points chauds**, ils sont créés par la remontée d'un panache de matériel chaud provenant de zones très profondes de la Terre et remontant jusqu'à la surface, où il provoque un volcanisme de type effusif.

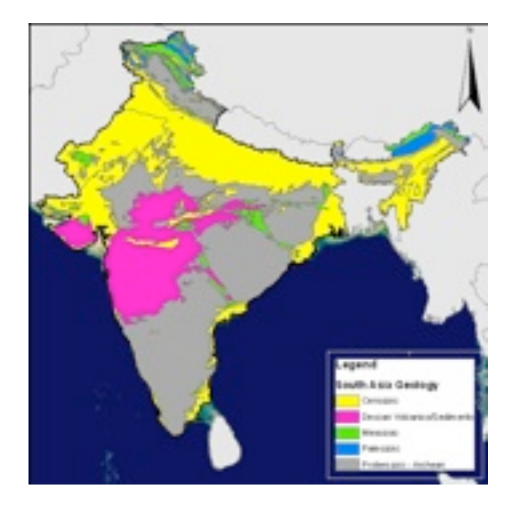
Lorsque ces volcans sont sous-marins, ils peuvent parfois dépasser la surface de l'eau et former des îles volcaniques comme Hawaï, la Réunion, l'île Maurice, les Maldives, les Açores, les Galapagos. Ces chapelets d'îles sont formés de l'accumulation de matériaux volcaniques sur les fonds océaniques. La quantité de lave émise peut être colossale: les îles d'Hawaii contiennent le volcan Mauna Loa, qui atteint 4170 m d'altitude au dessus du niveau de la mer, mais qui se prolonge sous l'océan Pacifique sur 5000 m. Si l'on tient compte de la déformation qu'il fait subir aux fonds marins à cause de son poids, ce volcan représente une masse de lave constituant une montagne qui s'élève de 17 km au-dessus de sa base... Un de ces volcans de point chaud se situe en France, sur l'île de la Réunion; c'est le Piton de la Fournaise, qui culmine à 2700 m d'altitude et est très actif.



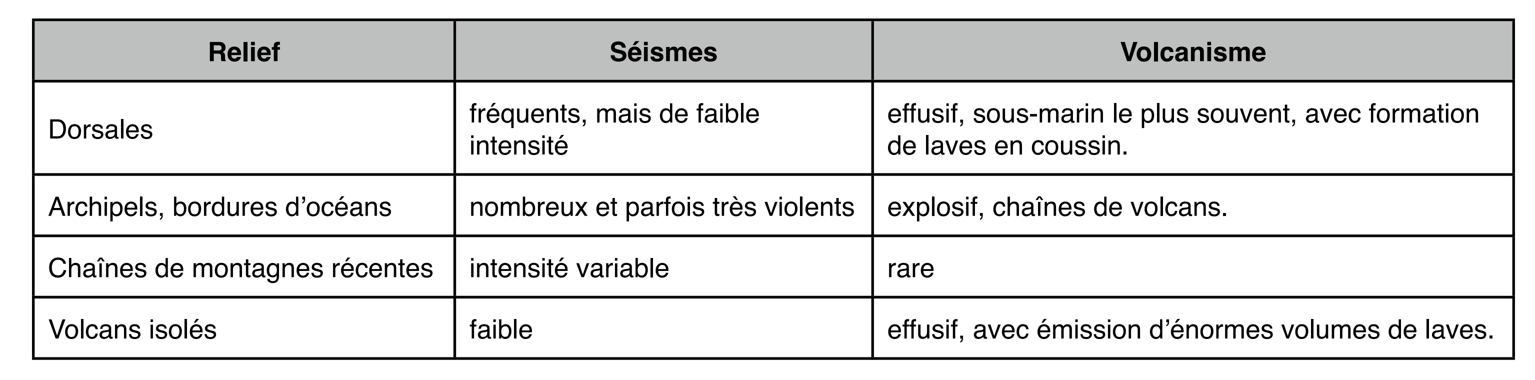
***Emplacement des «points chauds»**, à l'origine de volcans effusifs isolés. Carte Wikimedia/Smithsonian.*



Les volcans terrestres peuvent aussi libérer une immense quantité de lave pendant très longtemps. Les trapps du Deccan (*photo ci-contre, la disposition en «marches d'escalier» - «trapps» en Suédois - des coulées de lave est bien visible. D'après photo Wikimedia/ Kppethe*), en Inde, sont un exemple d'immense accumulation (jusqu'à 2400 m d'épaisseur) de roches volcaniques provenant d'éruptions qui se sont succédé pendant un ou plusieurs millions d'années (il y a 65 millions d'années environ), et qui s'étendent sur 500 000 km². Le fonctionnement de ce point chaud a libéré dans l'atmosphère des quantités gigantesques de gaz et de poussières, modifiant très certainement le climat mondial, participant ainsi à la disparition d'un grand nombre d'espèces comme les dinosaures.



***Localisation des Trapps** du Deccan, indiqués en rose sur cette carte. Doc. Wikimedia.*



Relief	Séismes	Volcanisme
Dorsales	fréquents, mais de faible intensité	effusif, sous-marin le plus souvent, avec formation de laves en coussin.
Archipels, bordures d'océans	nombreux et parfois très violents	explosif, chaînes de volcans.
Chaînes de montagnes récentes	intensité variable	rare
Volcans isolés	faible	effusif, avec émission d'énormes volumes de laves.

***Ci-contre:** tableau récapitulatif des reliefs associés aux séismes et au volcanisme.*

La répartition des séismes et des manifestations volcaniques permet de définir une douzaine de plaques

La répartition des séismes et des volcans découpe la Terre en différentes régions de taille variable, les **plaques tectoniques**. Ces plaques, nous le verrons plus en détail au prochain chapitre, ne sont pas des conventions, mais de réels morceaux de surface terrestre: la partie rigide de la planète Terre n'est donc **pas formée d'un seul tenant, mais est cassée en plusieurs morceaux jointifs, les plaques**. Certaines de ces plaques sont uniquement océaniques, comme la Plaque Pacifique et la Plaque nazca. D'autres sont uniquement continentales, bien que ce soit beaucoup plus rare: la plaque turque et la plaque iranienne sont des deux seules plaques qui possèdent cette caractéristique. Enfin, la plupart possèdent une partie océanique et une partie continentale.

Les limites entre ces plaques peuvent être très claires, comme dans le cas des dorsales océaniques ou des fosses. Elles sont parfois plus complexes, quand la frontière correspond à une zone montagneuse.



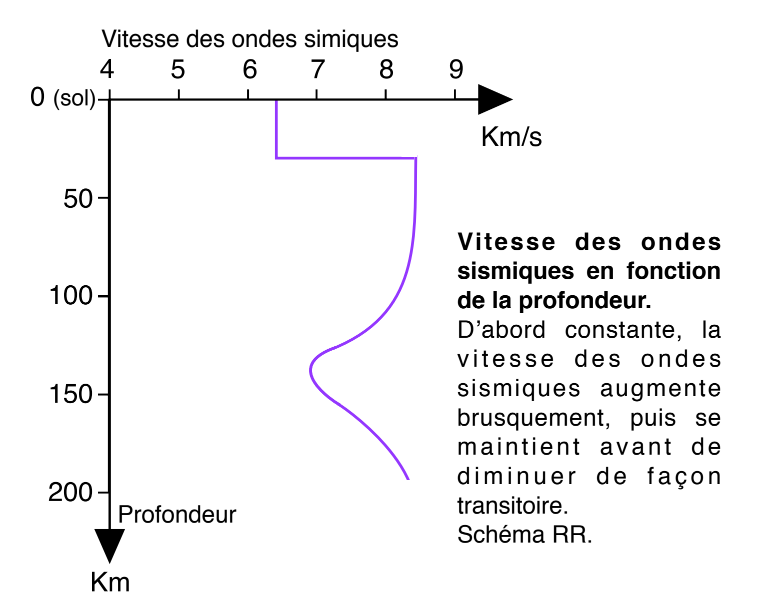
Les principales plaques tectoniques de la Terre. La surface solide de la Terre est brisée en une douzaine de plaques de taille variable. Attention: sur ce type de cartes, l'importance des plaques antarctique, nord-américaine et eurasienne est fortement exagérée. Doc. USGS.

Les plaques rigides de la lithosphère reposent sur l'asthénosphère, moins rigide.

L'étude des séismes et de la manière dont les ondes qu'ils créent se propagent a permis de comprendre la structure des plaques tectoniques. On peut en effet calculer la vitesse à laquelle les ondes sismiques se déplacent à l'intérieur du globe terrestre, et en déduire des informations sur sa composition: lorsque la roche change de composition ou d'état physique, la vitesse des ondes sismiques change aussi.

Ce type de recherches a été entrepris dès le début du XXe siècle. En 1909, Andija Mohorovičić met en évidence que la vitesse des ondes sismiques augmente brutalement à environ 35 km de profondeur. Cette discontinuité est appelée, d'après son découvreur, discontinuité de Mohorovičić, ou Moho. Elle correspond à la frontière entre deux zones qui ne sont pas faites des mêmes roches.

Plus profondément (en moyenne) entre 100 et 200 km, la vitesse des ondes diminue : cette région est appelée «zone à faible vitesse». La discontinuité est moins flagrante que celle du Moho, mais elle ne correspond pas à un changement de composition des roches, mais à un changement d'état: **la roche devient déformable**, elle n'est plus rigide. Attention toutefois: elle ne fond pas! **Contrairement à une image répandue, les plaques ne flottent pas sur du magma!** En effet, plus on s'enfonce dans la Terre, plus la température augmente. Comme la pression est aussi de plus en plus importante, les roches qui composent la Terre restent solides. Au niveau de la zone à faible vitesse, cependant, l'augmentation de la pression est insuffisante pour compenser l'augmentation de la température, et la roche, toujours solide, est un petit peu plus déformable, plus fluide, ce qui suffit à modifier la vitesse des ondes sismiques.



Vitesse des ondes sismiques en fonction de la profondeur. D'abord constante, la vitesse des ondes sismiques augmente brusquement, puis se maintient avant de diminuer de façon transitoire. Schéma RR.

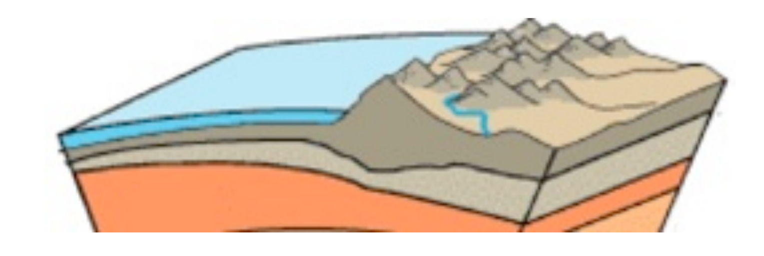
Les plaques n’ont pas la même structure sous les océans et sous les continents

La partie de la Terre située au-dessus de la zone à faible vitesse est appelée **lithosphère**, du grec *lithos*, qui signifie roche. Elle est en effet composée de diverses roches, parmi lesquelles on retrouve des roches sédimentaires, comme le calcaire, des basaltes d’origine volcanique, et du granite. Toutes ces roches se comportent comme des blocs solides, plus ou moins cassants si ils sont soumis à des forces intenses.

La profondeur de la zone à faible vitesse varie en fonction des régions de la Terre. Au niveau des dorsales océaniques, elle n’est qu’à une vingtaine de kilomètres. Sous les océans, elle se situe à une profondeur de quelques kilomètres à une centaine de kilomètres, tandis que sous les continents, elle peut atteindre 200 km, voire plus sous les chaînes de montagnes. Cela signifie que la lithosphère, bien que toujours très mince par rapport aux dimensions de la Terre (12700 km de diamètre) **n’a pas partout la même épaisseur**: on peut distinguer une lithosphère «océanique», épaisse de quelques dizaines de km, et une lithosphère «continentale», bien plus épaisse.

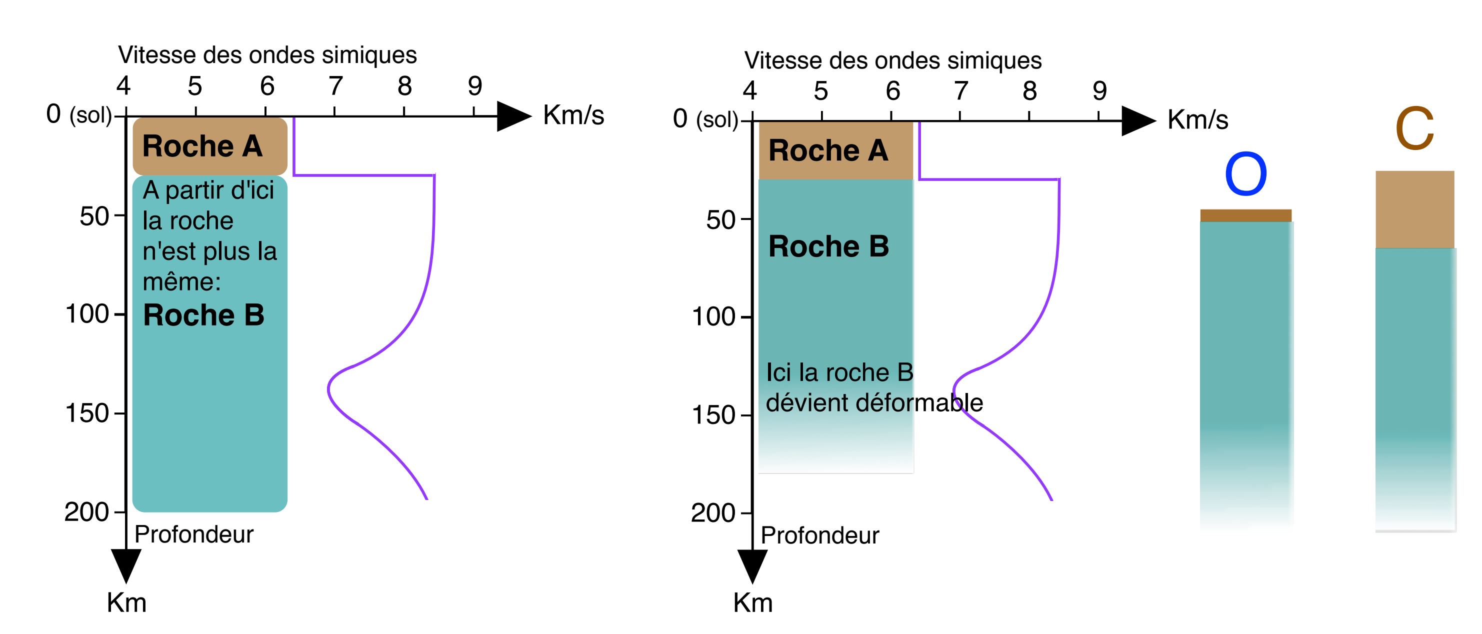
La partie située en dessous de la zone à faible vitesse est appelée **asthénosphère**, du grec *asthenos* signifiant faible. Cette couche est composée d’un seul type de roche et est capable de «fluer»: sous l’influence de forces énormes, elle ne va pas casser, mais va se déformer, va «s’écouler» très lentement (à des vitesses de l’ordre du cm/an) dans des directions privilégiées.

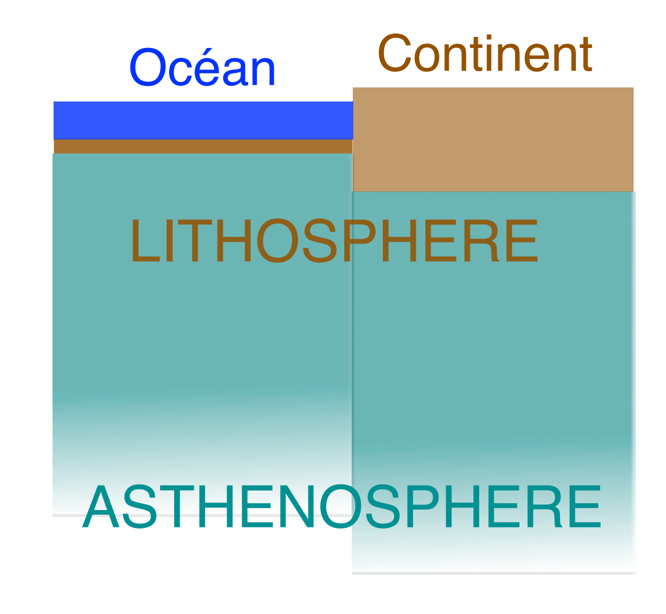
C’est la lithosphère qui compose les plaques qui découpent la surface de la Terre en une douzaine de morceaux inégaux. Dans l’asthénosphère, ce découpage de surface n’est pas retrouvé. **Les plaques, ces gigantesques morceaux de lithosphère, flottent donc sur l'asthénosphère** (comme la lithosphère est moins dense que l’asthénosphère, ils flottent *vraiment*, comme un bouchon de liège flotte sur l’eau).



Structure de la partie supérieure de la Terre
Les deux couches de la lithosphère sont représentées en marron, l’asthénosphère en orange. Remarquez la différence d’épaisseur entre la lithosphère «océanique», fine, et celle des continents, plus épaisse.
D’après un schéma USGS.

Comment on construit une représentation de la lithosphère en partant des données de vitesse des ondes sismiques (de gauche à droite): on commence par représenter le changement de nature des roches trahi par la brusque augmentation de vitesse des ondes, puis on représente la région où la roche B devient déformable, correspondant à une baisse de vitesse des ondes. Cette zone est la frontière entre lithosphère et asthénosphère. On tient ensuite compte des différences d’épaisseur de ces couches de roches entre zones océaniques (O) et continentales (C) pour enfin aboutir au modèle représenté ci-dessous. Schémas RR.





Questions rapides: *Comment se répartissent les séismes et les volcans? Quelles sont les particularités des volcans de point chaud ? Où sont situées les dorsales ? Quelles sont les différences entre lithosphère et asthénosphère ? Qu'est-ce que la ceinture de Feu ? Où sont situées les fosses océaniques ? Quelle est la structure d'une plaque tectonique ?*

Mini Glossaire

Asthénosphère : Couche profonde de la Terre où les roches ont un comportement ductile: elles peuvent s'y déformer, sous une forte pression, à des vitesses de l'ordre du cm/an.
Basalte : roche volcanique de couleur sombre, issue d'un magma refroidi rapidement.
Bathyscaphe : Sous-marin adapté à la plongée à très grande profondeur.
Dorsale : Chaines de montagnes sous marine, caractérisée par une forme arrondie et la présence, au niveau de son axe, d'un intense volcanisme effusif.
Ductile : qui peut être étiré sans se casser, se dit de ce qui est malléable (comme de la pâte à modeler).
Effusif : magma très fluide, qui coule comme un liquide.
Faille : plan séparant deux blocs rocheux qui glissent l'un par rapport à l'autre. C'est là que se produisent les séismes.
Fosse océanique : dépression sous-marine profonde, longue et étroite
Granite : roche de couleur claire, composée de minéraux de grande taille formant des grains
HMS : Her Majesty Ship; navire de la marine britannique.
Laves en coussin : Laves émises par des volcans sous-marins, et qui prennent une forme de «boules» ou de cylindres à cause de la pression de l'eau.
Lithosphère : Couche supérieure de la Terre, rigide et cassante, formée de roches accessibles en surface.
Ondes sismiques : ondes créées par les séismes, mais aussi les chocs et les explosions, qui se propagent dans les roches
Paré : décoré
Propager: se déplacer de façon régulière, de proche en proche.
Péridotite : roche verdâtre qui devient ductile à la limite lithosphère/asthénosphère.
Plaques tectoniques : morceaux de lithosphère formant toute la partie externe de la Terre.
Point chaud : endroit à la surface de la Terre, à l'intérieur ou à la frontière d'une plaque géologique, possédant une activité volcanique régulière.
Relief: les formes que peut prendre la surface de la Terre.
Trapps : Accumulations de coulés de laves en quantité très importante, se superposant sur plusieurs dizaines de m dans les paysages et formant des falaises de basalte en «marches d'escalier», ce qui leur a donné leur nom (trapp = escalier, en Suédois et Hollandais)
Tsunami : immense vague provoquée par le mouvement rapide d'un grand volume d'eau, ce mouvement étant souvent déclenché par un séisme sous-marin (Sendaî, 2011), mais pouvant aussi provenir de l'explosion d'un volcan (Krakatoa, 1883).

Pendant le cours... Questions d'élève:

Si la lithosphère flotte, elle peut couler ?
Pas tant qu'elle est moins dense que l'asthénosphère. Nous verrons par la suite qu'il existe certains endroits où la lithosphère «coule», en effet, mais à une vitesse très lente.

Qu'est ce qu'il y a entre les plaques ?
Rien. Les plaques sont jointives, accolées les unes aux autres. Dans certaines régions, vous pouvez passer d'une plaque à l'autre sans vous en apercevoir, surtout si vous ne faites pas attention au relief.

De quoi s'est fait l'asthénosphère ? Et la lithosphère ?
La lithosphère est faite de roche que vous connaissez: le basalte, le granite, et souvent des roches sédimentaires comme le calcaire, qui recouvrent tout cela. En profondeur, la lithosphère est constituée d'une roche appelée péridotite, qui constitue aussi l'asthénosphère.

J'ai un livre sur les volcans, il montre que les plaques elles flottent sur du magma rouge...
C'est une erreur que l'on rencontre souvent: pour représenter le fait que l'intérieur le la terre est chaud, on le colorie souvent, sur les schémas, en orange ou en rouge, et vous pensez ainsi logiquement, mais à tort, que c'est du magma: l'intérieur de la Terre est bien essentiellement solide, bien que déformable, et les plaques ne flottent pas sur du magma rougeoyant, mais sur l'asthénosphère, solide mais ductile, qui est chaude, mais ne fond pas. Répétons-le : **le seul endroit où l'on trouve du magma, c'est sous les volcans!**

Les plaques, elles bougent, non ?
Ca se pourrait... il est temps de commencer le chapitre 4!

À RETENIR: les séismes et les volcans dessinent sur le globe les limites de grandes régions où les séismes sont rares (mais où peuvent exister quelques volcans isolés). Ces régions sont des plaques tectoniques, car la surface de la Terre n'est pas d'un seul tenant, mais cassée en une douzaine de morceaux. L'étude de la structure de ces plaques permet de faire la différence entre la lithosphère, couche de roches solide de quelques dizaines de km d'épaisseur qui constitue les plaques, et l'asthénosphère, zone plus profonde ou la roche est déformable, bien que solide.

4 - Les mouvements des plaques transforment la surface du globe

Les plaques et leurs mouvements: petite histoire d'une révolution scientifique

À peine plus d'un siècle après la découverte de l'Amérique, les cartographes européens purent réaliser des cartes relativement fidèles de certaines parties des côtes de ce continent. L'un des plus fameux d'entre eux, A. Ortelius, remarqua alors, en 1596, que les côtes de l'ouest de l'Afrique et de l'est de l'Amérique du Sud semblaient s'emboîter. 24 ans plus tard, le philosophe F. Bacon remarqua aussi cette correspondance géographique difficilement explicable, qui devint de plus en plus évidente au fur et à mesure que les cartes se firent plus étendues et plus précises.

En 1668, F. Placet proposa que le «morceau» manquant entre Afrique et Amérique se soit brutalement effondré dans l'océan. L'idée d'une brusque catastrophe dans le passé a duré longtemps, mais en 1857, H. Owen proposa une théorie qui faisait appel à un mouvement lent, progressif, mais «incroyable»: d'après lui, la chaleur interne de la Terre la faisait gonfler comme un soufflé, et les continents se cassaient et s'écartaient au fur et à mesure que la Terre gonflait... Cette idée élégante (mais fausse) n'eut pas de succès, et en 1858, A. Snider Pellegrini invoquait toujours une catastrophe ayant rapidement séparé le continent américain de l'Afrique et de l'Europe.

C'est Georges Darwin qui imagina, en 1879, la plus grande catastrophe: il supposa que dans le passé la Lune ait été arrachée de la Terre, laissant un «trou», le Pacifique, vers lequel les continents auraient alors glissé en se fracturant; Europe, Afrique et Asie partant d'un côté et l'Amérique de l'autre... En 1895, le géologue E. Suess démontra que l'on trouvait les mêmes fougères fossiles, à la même époque, en Afrique, Amérique du Sud et Inde, et l'expliqua par la présence, dans le passé, de «ponts» rocheux entre ces continents, qui se seraient enfoncés sous les océans. Cette idée de «ponts» disparus est alors acceptée par la majorité des géologues de l'époque.

Toutefois, l'exploration des fonds océaniques et les découvertes des sciences physiques vont contredire chacune de ces théories, qui répandent pourtant l'idée de mouvements, de glissements des masses continentales.

Deux scientifiques vont, chacun de leur côté, reprendre ces idées pour proposer au début du 20e siècle deux modèles voisins qui, bien qu'inexacts, vont permettre d'avancer et de poser de bonnes questions.

- En 1910, F.B. Taylor propose que l'Atlantique se soit formé par la dérive lente du continent américain, qui se serait peu à peu séparé de l'Europe et de l'Afrique en raclant les fonds marins, ce qui aurait formé un «bourrelet» sur sa côte ouest: les Andes et les Rocheuses.
- En 1912, Alfred Wegener, astronome et météorologue, propose lui aussi que les continents aient lentement «dérivé» sur les fonds océaniques, qu'il imagine constitués de roches déformables. Wegener est le premier à s'appuyer sur une masse d'observations géographiques, géologiques (roches et minerais identiques en Amérique du Sud et Afrique, par exemple), climatologiques et paléontologiques (mêmes fossiles présents aux mêmes époques).

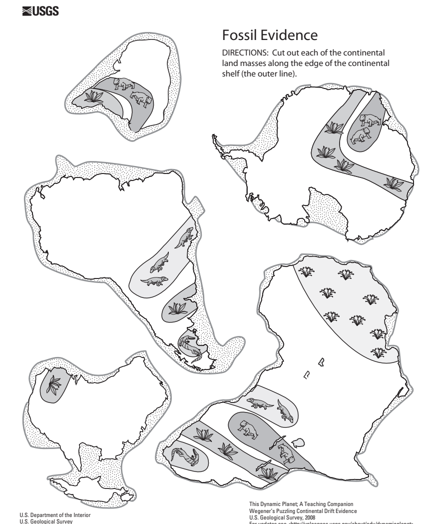
Malheureusement, bien que ses observations aient été pertinentes, Wegener n'a pas été capable de découvrir l'origine des forces capables de mettre les continents en mouvement. Sa théorie a donc été massivement rejetée par une grande partie de la communauté des géologues. Mais elle allait bientôt se voir complétée et étendue bien au-delà des idées de son concepteur...

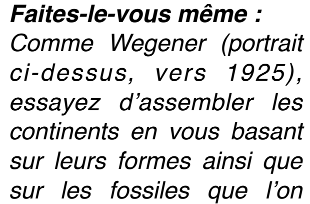




Carte du monde d'A. Ortelius (1596)
Même avec les erreurs et les imprécisions de l'époque, la correspondance des côtes entre Afrique et Amérique du Sud (ci-contre) surprend le géographe, qui propose que l'Amérique ait été «arrachée de l'Europe et de l'Afrique... par des tremblements de Terre et des inondations». Doc. Wikimedia/ RR.





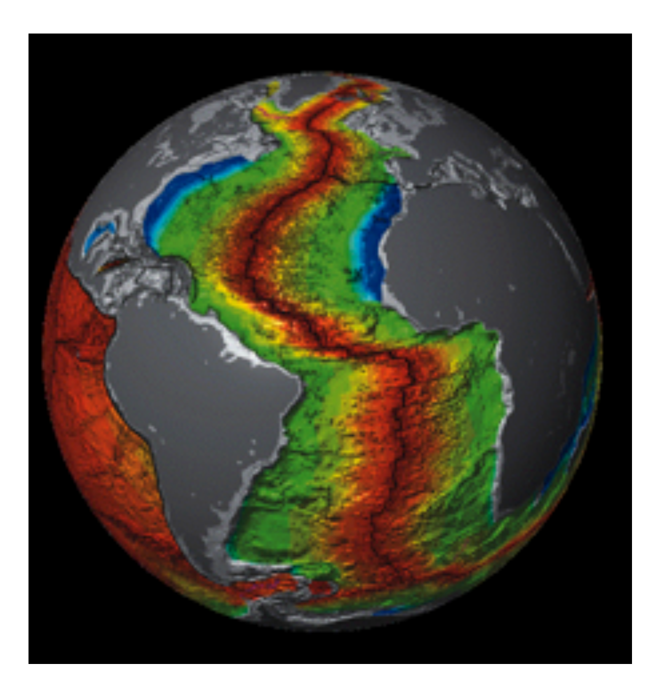


Faites-le-vous même :
Comme Wegener (portrait ci-dessus, vers 1925), essayez d'assembler les continents en vous basant sur leurs formes ainsi que sur les fossiles que l'on peut y trouver.
Feuille à télécharger, imprimer et découper ici.
Instructions et légende traduite en français ici.
Document USGS / traduction RR.



Ce que disent les fonds océaniques

C'est le géologue A. Holmes qui, en 1930, découvre un «moteur» éventuel pour le mouvement des continents: il montre qu'il est possible qu'**il existe dans l'asthénosphère des courants, très lents**, dont il pense qu'ils sont capables d'entrainer et de déplacer ces derniers. Mais démontrer l'existence de ces courants n'est pas possible à l'époque, et il va falloir attendre la seconde partie du XXe siècle pour voir se développer les idées de Wegener. En effet, après la Seconde Guerre mondiale, des motivations militaires conduisent au développement de nombreuses techniques permettant une meilleure connaissance des fonds sous-marins. C'est d'ailleurs un marin, le capitaine (et géologue) H.H. Hess, qui a été l'un des premiers à utiliser un sonar pendant la guerre, qui va démontrer en 1960 l'existence de courants dans l'asthénosphère. Hess propose que les continents ne «dérivent» pas en labourant le fond de l'océan, mais soient portés par **le fond rigide de l'océan qui, lui, se déplacerait à la manière d'un «tapis roulant»**, comme le propose, à l'époque, le géologue R. Dietz !

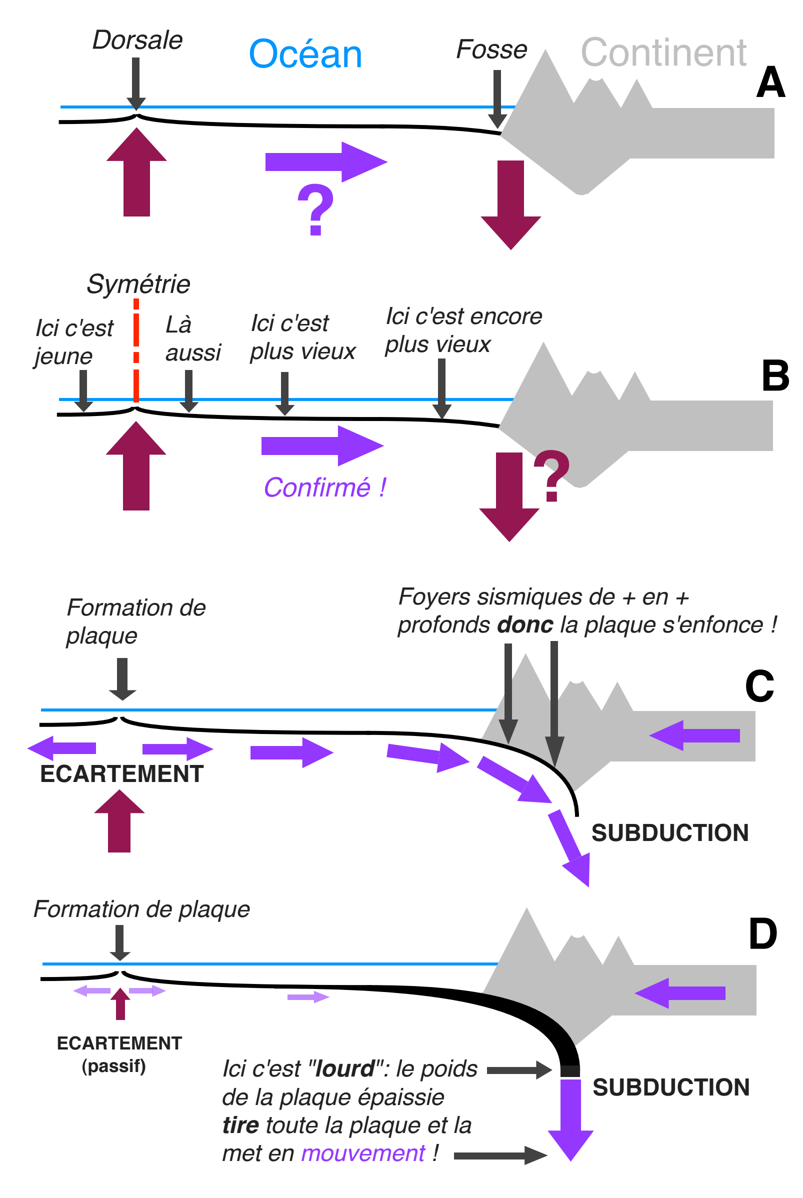


Plusieurs géologues, spécialistes des fonds marins, vont alors en dix ans seulement accumuler assez de découvertes pour confirmer les idées de Hess. Ils découvrent ainsi que **les fonds sous-marins ne sont pas du même âge partout** : au cœur des océans, les fonds océaniques sont beaucoup plus récents que sur les bordures des continents. Il existe même des régions dans les océans, au niveau des dorsales, où les fonds océaniques viennent tout juste de se former !

Carte ci-contre: âge des fonds océaniques de l'Atlantique. L'âge va croissant du noir (actuel) au bleu (180 millions d'années): on trouve des terrains dont l'âge se distribue de façon symétrique par rapport à la dorsale, et qui sont d'autant plus vieux qu'ils sont éloignés de cette dernière. D'après un document USGS).

Tout se passe donc comme si **le fond des océans se formait de façon continue au niveau des dorsales, s'en écartant progressivement**... Cette idée qui paraissait incroyable en 1960 se retrouve pleinement confirmée dès 1970 par plusieurs découvertes réalisées au fond des océans.

Mais si de la lithosphère se forme au niveau des dorsales, il faut bien qu'elle disparaisse à un autre endroit (sinon la Terre gonflerait, ce qui n'a pas été constaté). C'est alors que de nombreux géologues repensent aux découvertes réalisées par le géologue japonais K. Wadachi en 1935: il avait montré qu'au voisinage des îles du Japon, **les foyers de séismes devenaient de plus en plus profonds.** En 1949, le géologue H. Benioff montre que cette disposition particulière se retrouve **au voisinage de toutes les fosses océaniques**. Ce phénomène étrange trouve alors une explication formulée en 1967 par J. Oliver et B. Isacks: les foyers des séismes qui s'enfoncent de plus en plus profondément au voisinage des fosses océaniques signalent **l'enfouissement de la lithosphère océanique qui, à ce niveau, «coule» dans l'asthénosphère**. Par la suite, il apparaît qu'**en s'enfonçant dans l'asthénosphère, la plaque «plongeante» entraine avec elle tout le reste de la plaque** à laquelle elle appartient, la mettant ainsi en mouvement.



***Élaboration progressive du modèle de la tectonique des plaques.** En 1960, Hess découvre des courants ascendants et descendants dans l'asthénosphère, et suppose les fonds océaniques mobiles (**A**). Entre 1960 et 1970, l'étude des fonds océaniques montre leur symétrie par rapport aux dorsales et une répartition de leur âge qui s'explique si ces derniers sont bien mobiles, se formant à la dorsale (**B**). Les découvertes de Wadachi et Bénioff sont expliquées si l'on suppose que la plaque «océanique» finit par s'enfoncer profondément, coulant lentement dans l'asthénosphère, par un phénomène de subduction (**C**). Ce mouvement a été identifié depuis comme étant le véritable «moteur» du mouvement des plaques (**D**). Doc RR.*

L'ensemble de ces découvertes (formation de lithosphère au niveau des dorsales, enfouissement au niveau des fosses) débouche sur une théorie globale, la **tectonique des plaques**: les plaques de lithosphère sont mobiles les unes par rapport aux autres. Elles sont entrainées principalement par **le poids des plaques plongeantes** dans l'asthénosphère. **Les continents, qui font partie des plaques, suivent le mouvement**. Toutefois, et contrairement au fond des océans, ils ne peuvent pas facilement «couler» dans l'asthénosphère, car ils sont plus «légers» que le basalte qui compose la lithosphère «océanique». Dans l'histoire de la Terre, les continents ont donc connu des positions diverses, se rassemblant, s'entrechoquant et se séparant plusieurs fois.

L'utilisation du GPS, système de positionnement mondial, a permis en 1995 de valider la théorie de la tectonique des plaques grâce à des mesures très précises du déplacement de celles-ci. On a ainsi pu calculer la vitesse et la direction des mouvements des plaques. Examinons plus en détail ces mouvements des plaques et leurs conséquences.

Plaque	Vitesse (Cm/an)	Direction
Pacifique	10	Nord-Ouest
Eurasie	1	vers l'Est
Afrique	2	Nord
Antarctique	Tourne sur elle-même	
Inde-Australie	7	Nord
Amérique du Nord	1	Ouest
Amérique du Sud	1	Nord
Nazca	7	Est
Philippine	8	Ouest
Arabie	3	Nord-Est
Coco	5	Nord-Est
Caraïbes	1	Nord-Est

Vitesse et direction du mouvement des plaques, mesurées par GPS. Doc. CB.

Les plaques se forment au niveau des dorsales

Les dorsales forment une chaine continue sur tous les océans, longue de 60 000 km. Elles sont généralement hautes de 2 à 3 km, mais, étant situées à environ 6 km de profondeur, elles n'apparaissent pas à la surface des océans, si ce n'est sous la forme de quelques îles volcaniques. Une seule exception de taille: l'**Islande**. Que nous apprend-t'elle ?

L'Islande est une île volcanique qui possède de nombreux gisements de **basalte**, roche de couleur sombre dont nous avons vu qu'elle provient du refroidissement de magmas fluides. L'île a un relief tourmenté, avec de nombreuses vallées escarpées qui suivent un axe nord-est/sud-ouest. **Les séismes y sont très fréquents, mais de faible magnitude**; les manifestations du volcanisme (une éruption tous les 3 ans en moyenne) omniprésentes (**éruptions, geysers, sources chaudes**...). L'axe de la Dorsale correspond au tiers de la surface de l'île. On y trouve des zones, de 5 à 10 km de large, avec de **nombreuses failles** de 30 à 100 km de long **dont les bords s'écartent, en moyenne, d'un cm par an.** On trouve également des volcans libérant des laves fluides en grande quantité, dont le refroidissement conduit à des basaltes. Les roches formées à ce niveau sont **les mêmes que celles qui forment le fond des océans**.



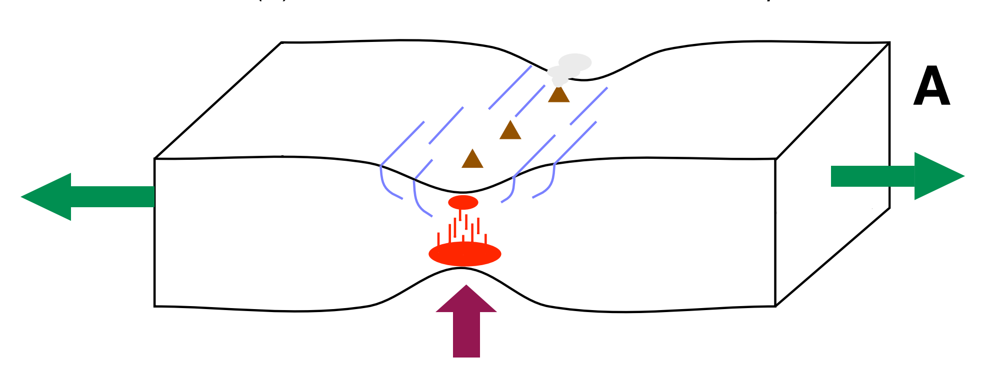
Situation de l'Islande. *L'île est «coupée en deux» par la dorsale (en violet), et se retrouve partagée entre deux plaques tectoniques en cours d'écartement. Cet écartement progressif s'accompagne d'un volcanisme effusif intense, dont les principaux sites sont indiqués (triangles rouges). Doc RR d'après une source USGS.*

C'est donc au niveau du cœur de la dorsale que **se crée la lithosphère océanique**. En s'éloignant, les deux plaques permettent la remontée de l'asthénosphère, ce qui conduit à la formation de poches de magma sous la dorsale. Le magma, en arrivant en surface, se solidifie et crée la lithosphère océanique. Par conséquent, **plus on s'éloigne de la dorsale, plus la lithosphère océanique est vieille**. Elle se recouvre petit à petit de sédiments marins, qui peuvent atteindre des épaisseurs de plusieurs kilomètres.

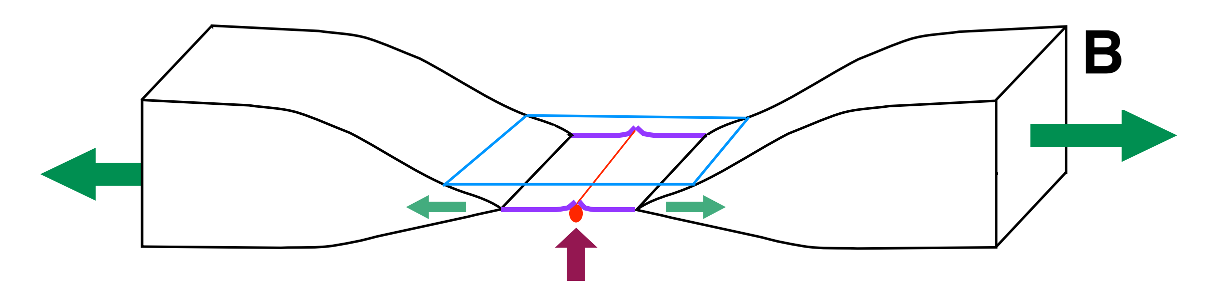
Une remontée de l'asthénosphère vers la surface peut se produire au niveau d'un continent dont les bords sont étirés: **le continent va alors de fracturer en deux, et un océan va se former entre les deux blocs qui vont dériver** et se séparer de plus en plus au fur et à mesure que de la lithosphère océanique supplémentaire se formera. C'est ainsi que se sont séparés, il y a 200 millions d'années, l'Amérique du Sud et l'Afrique. Les différents stades de se processus peuvent être, de nos jours, observés à divers endroits de la Terre.

Ouverture d'un océan:

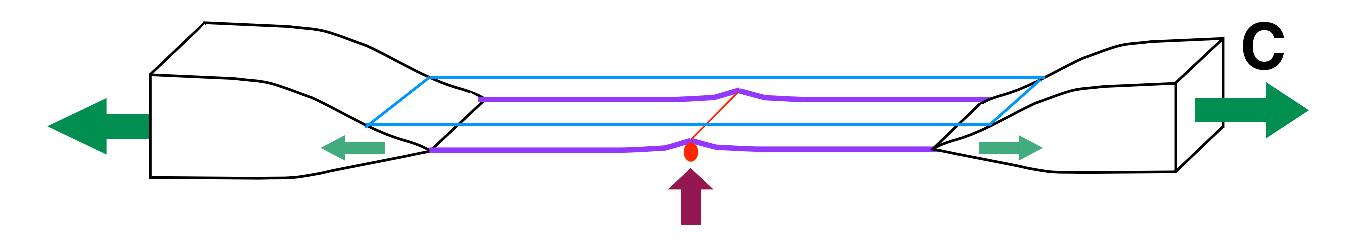
*Ci-dessous (**A**) est illustrée la situation d'un continent qui, soumis à des forces qui l'étirent (en vert) et à un courant «chaud» ascendant venant de l'Asthénosphère, s'amincit en même temps que se forme dans l'axe de cet amincissement du magma (en rouge) à l'origine d'un volcanisme intense (triangles). L'étirement du continent aboutit à la formation de nombreuses failles (en violet) orientées dans l'axe de l'amincissement. Cette situation, qui a été, dans un lointain passé, celle de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, est aujourd'hui observable dans l'est de l'Afrique.*

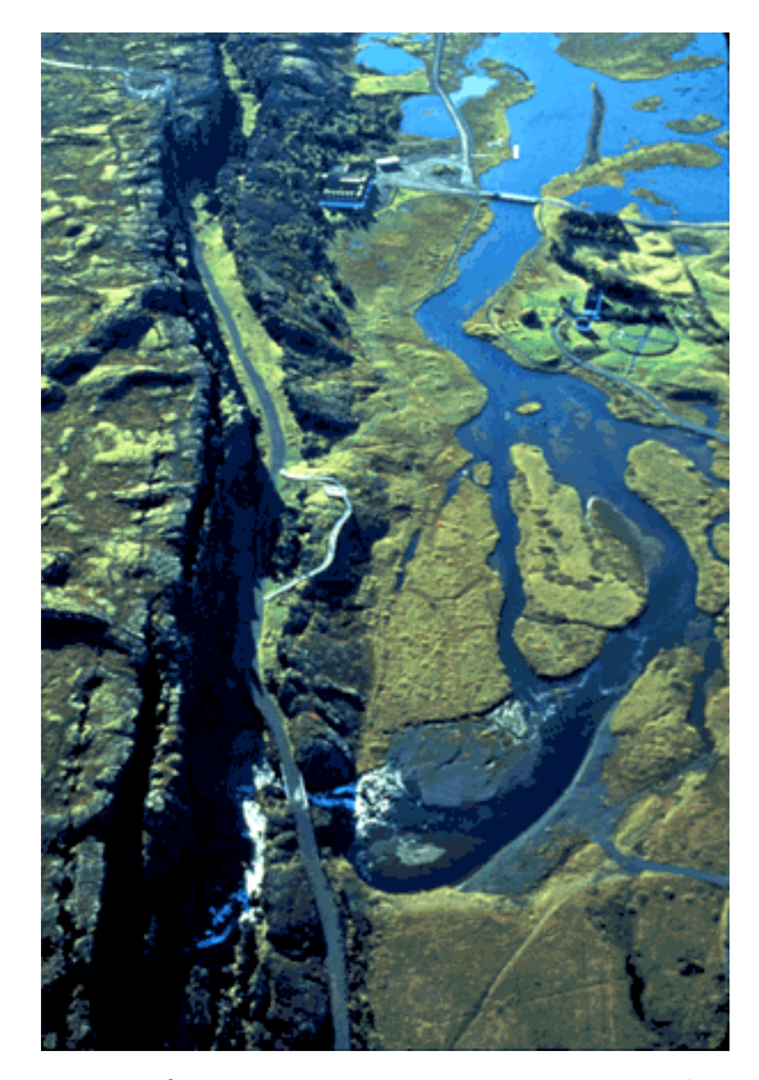


*Le schéma suivant (**B**) décrit la situation quelques millions d'années plus tard: les deux morceaux du continent primordial se sont séparés, et entre eux s'est formée (et se forme toujours, au niveau d'une dorsale centrale - en rouge) de la lithosphère «océanique» (en violet). Cette situation est actuellement observable au niveau de la Mer Rouge.*



Enfin, des dizaines de millions d'années plus tard, la formation continue de lithosphère «océanique» au niveau de la dorsale a nettement séparé les deux continents anciennement reliés, séparés à présent par un grand océan. C'est la situation actuelle de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, séparées par l'Atlantique. Schémas RR.





Failles présentes dans le parc National de Thingvellir. *Ces failles forment un axe nord-est/sud-ouest, et soulignent ici la séparation entre les plaques nord-américaines et eurasienne: à gauche, la partie la plus escarpée signale le début de la plaque américaine, alors qu'à droite nous sommes sur la plaque eurasienne. La route se situe au niveau d'un futur océan, le fossé où elle est située s'élargissant en moyenne d'un centimètre par an.*
Photo Oddur Sigurdsson / USGS

Là où les plaques s'affrontent: l'exemple des Îles Kouriles

Les îles Kouriles sont un archipel d'îles volcaniques, situées à l'est de la Russie, au nord de l'archipel japonais (voir carte). Ces îles font partie de la Ceinture de Feu du Pacifique, que nous avons découverte au chapitre 3. Plus de cent volcans, dont quarante actifs, y sont présents. Ce volcanisme est de type explosif (ci-contre: *Éruption du volcan Sarychev, sur l'île Matua, faisant partie de l'archipel des îles Kouriles, le 12 juin 2009. Cette observation a été réalisée «vue de dessus» par les astronautes de la station spatiale internationale. Film du survol* . Image NASA).



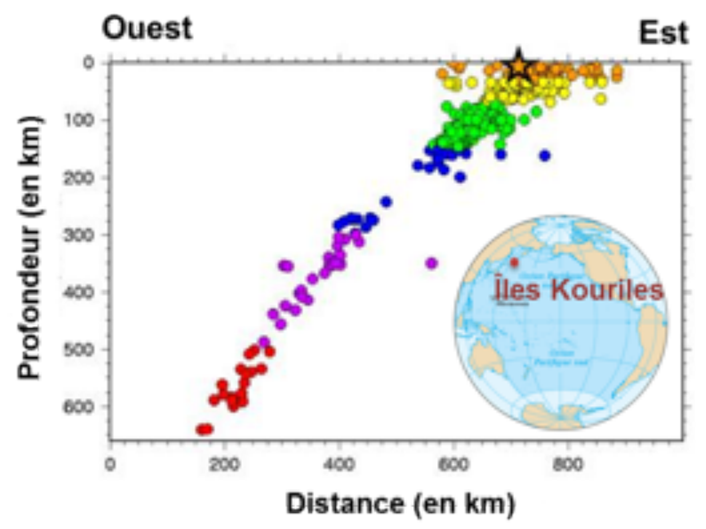
Les informations sur la composition des magmas produits ainsi que des tests en laboratoire permettent de déterminer que les magmas pâteux émis sont liés à la présence d'eau (dans la composition chimique des roches, il ne s'agit pas de «lacs» d'eau pure) à très grande profondeur. Il va falloir trouver l'origine de cette eau pour expliquer pourquoi le volcanisme explosif est lié aux zones proches des fosses océaniques...

Comme dans toute cette région, les séismes sont fréquents aux Kouriles: c'est même un des endroits les plus sismiques du monde (un tremblement de terre de magnitude > 5 tous les deux mois en moyenne). La profondeur des foyers des séismes, en fonction d'un plan nord ouest-sud est, est présentée sur le document de droite. On y constate que les foyers des séismes suivent un plan incliné de l'est vers l'ouest, jusqu'à plus de 600 km de profondeur. Comme les séismes sont provoqués par la cassure de roches «solides», cela signifie qu'il y a à cet endroit une couche de roche solide, inclinée, dans l'asthénosphère (la lithosphère ayant moins de 100 km d'épaisseur....). D'où viens cette roche solide, et pourquoi casse-t'elle si fréquemment ? Les géologues ont **interprété** ces observations en faisant **l'hypothèse** qu'une plaque tectonique lithosphérique, rigide, est en train de «couler» lentement dans l'asthénosphère. Les frottements qu'elle subit du fait de son enfouissement (à des vitesses de l'ordre du cm/an) provoquent les cassures à l'origine des séismes détectés. Ce **modèle** de «plaque plongeante», a été amplement **confirmé** par d'autres observations, et permet d'expliquer, comme nous allons le voir, de nombreux phénomènes.

Questions rapides: *Identifiez sur la photo du Sarychev en éruption les cendres volcaniques et la nuée ardente. De quel type d'éruption s'agit-il ? Ce genre d'éruption est-il fréquent dans la zone où l'on trouve ce volcan ? Quel phénomène cause la répartition particulière des foyers des séismes dans cette région ?*



Les îles Kouriles. *Le volcan Sarychev (voir texte) est indiqué par la flèche rouge ; le trait jaune signale la ligne où l'on a mesuré régulièrement la profondeur du foyer des séismes, ce qui a permis de créer la «coupe» suivante, allant jusqu'à 700 km de profondeur. Doc. CB.*



Les foyers des séismes plongent profondément dans l'asthénosphère. *Profondeurs des séismes en fonction de leur localisation suivant un axe NO-SE, dans l'archipel des îles Kouriles. Les foyers se répartissent sur une ligne plongeant profondément dans l'asthénosphère (voir texte). Doc. CB.*

Les plaques se rapprochent et s’enfouissent au niveau des fosses océaniques.

Les plaques lithosphériques se sont formées, et se forment toujours, au niveau des dorsales. Les plaques s’écartent de part et d’autre d’une dorsale, qui constitue donc une **frontière divergente** pour les deux plaques. Il existe également des **frontières convergentes**, où les plaques se rapprochent. Ces frontières sont des zones de **subduction**. A ce niveau, une plaque «coule» dans l’asthénosphère, plongeant sous une autre à la vitesse de quelques cm par an.

Mais comment une plaque de lithosphère peut-elle «couler» dans l’asthénosphère ? Pour les continents, la réponse est facile: constitués de roches moins denses que l’asthénosphère, ils ne «coulent» pas facilement, car leur densité ne change pas (ou peu) avec le temps.

Par contre, la lithosphère océanique, en vieillissant, **devient de plus en plus dense**. Deux effets contribuent à l’augmentation de sa densité. D’une part, la plaque lithosphérique, chaude lorsqu’elle est créée, se refroidit petit à petit, ce qui augmente sa densité. D’autre part, elle se recouvre de sédiments marins dont le poids a tendance à «l'enfoncer» davantage. Le poids de la plaque plongeante est tel **qu’elle entraine avec elle tout le reste de la plaque lithosphérique**, dont les éventuels continents qui en font partie: **c’est la subduction qui met les plaques en mouvement !**



Localisation des zones de subduction dans le monde. *Elles occupent principalement les rivages du Pacifique, mais on en trouve aussi au niveau des Caraïbes, de l’Indonésie et en Méditerranée. Doc . CB.*

Lorsque deux plaques lithosphériques s’affrontent, la plus dense s’enfonce dans l’asthénosphère, passant ainsi sous la moins dense. Lorsque la rencontre a lieu entre deux plaques lithosphériques océaniques, c’est la plus dense, souvent la plus vieille, qui plonge en premier. Les plaques continentales étant plus légères que les plaques océaniques, ce sont toujours ces dernières qui disparaissent dans l’asthénosphère alors que les continents surnagent, se déplaçant, portés par leurs plaques, depuis l’époque de la formation de la Terre.

Le **modèle** de la plaque lithosphérique plongeant dans l’asthénosphère au niveau d’une zone de subduction a été **confirmé** par de nombreuses **observations et expériences**. **Il correspond donc bien à la réalité**. En effet, la présence des zones de subduction permet d’expliquer:

- **la formation et l’emplacement des fosses océaniques**, étroites et profondes, à l’endroit où une plaque commence à s’enfoncer sous une autre .
- les **séismes fréquents** aux foyers de plus en plus profonds, la plaque plongeante frottant en s’enfonçant contre celle qui subsiste. Ces frottements génèrent des séismes, dont les foyers se répartissent selon un plan incliné.
- la présence de chaines de **volcans explosifs**, car lorsque la plaque plongeante s’enfonce, l’eau des océans qui l’a imbibée pendant des millions d’années s’échappe et, en remontant, provoque localement la fusion de la plaque du dessus. Il se forme ainsi un magma qui est à l’origine du volcanisme explosif caractéristique de ces zones.
- l’origine des **chaines de montagnes bordant les zones de subduction**: les plaques qui se rencontrent se déforment (voir page suivante): la plongeante s’enfonce, celle qui surnage est «emboutie», se déforme, se casse, se tord localement et se «ride»: c’est ainsi que se forment les chaines de montagnes comme les Rocheuses ou les Andes.

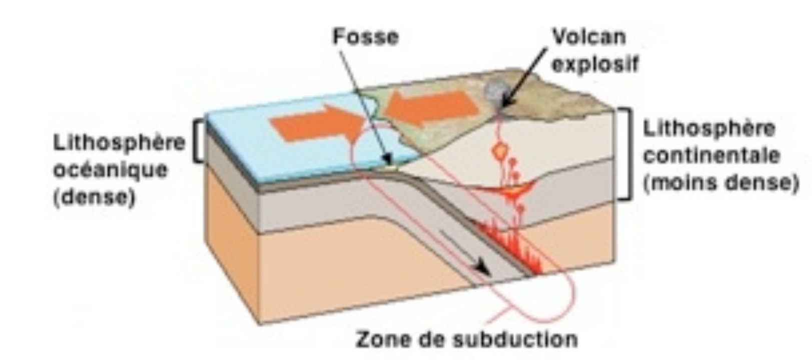


Schéma d’une zone de subduction. *La plongée de la plaque océanique provoque la formation d’une fosse, le déclenchement de séismes et la formation d’un magma pâteux à l’origine d’un volcanisme explosif. Schéma USGS, annotations CB.*

Subduction et collision des continents déforment la lithosphère, ce qui créé les chaînes de montagnes.

Une montagne est un relief élevé à la surface de la Terre, un ensemble de montagnes formant une chaîne. La cause principale de la formation de chaînes de montagnes est la **collision** de deux plaques continentales.

En effet, la densité de la lithosphère continentale est trop faible pour lui permettre de s'enfoncer dans l'asthénosphère. Par conséquent, lorsque la subduction conduit deux lithosphères continentales à entrer en collision (voir schéma ci-contre), aucune d'entre elles ne disparait. **Elles s'empilent l'une sur l'autre** et forment une chaine de montagnes.

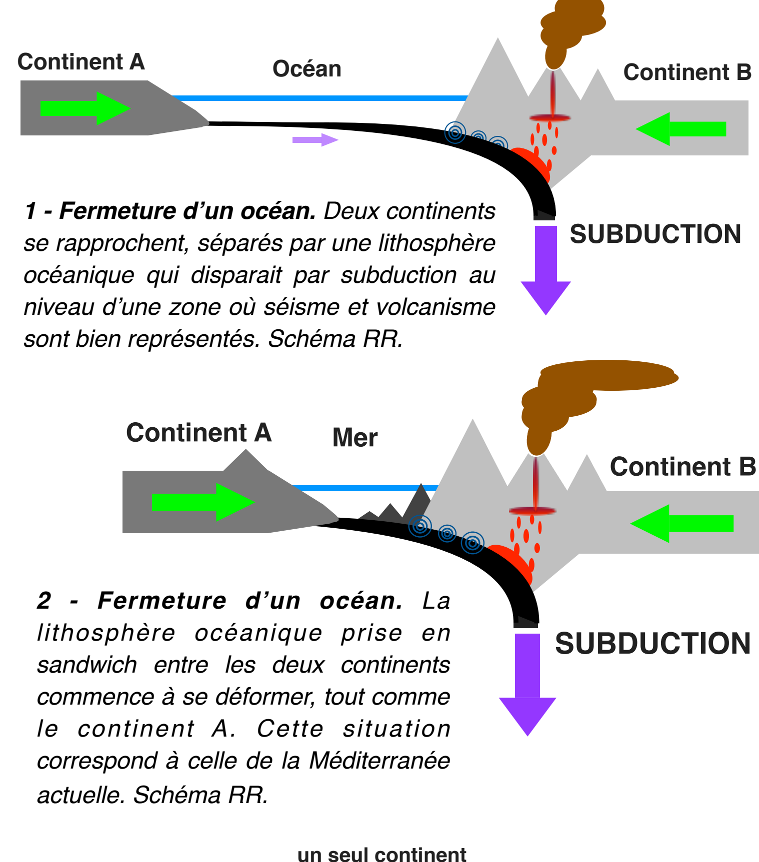
Entre les deux lithosphères continentales, des fragments de la lithosphère océanique peuvent être pris en sandwich et subsister ainsi dans une chaine de montagnes.

La collision se fait très lentement et dure des dizaines de milliers d'années. Elle conduit au plissement des terrains (ce qui se voit particulièrement lorsque le sol est formé de couches sédimentaires parallèles) ou à leur cassure (ce qui déclenche des séismes et forme des failles). On peut reproduire à plus petite échelle les conséquences de la collision continentale.

Les chaines de montagnes sont donc les indices des collisions des continents du passé. En utilisant le mouvement actuel des plaques tectoniques, il est aussi possible d**e reconstituer l'aspect de notre planète dans un lointain passé**, ou même de prévoir quelle sera son apparence dans un futur lointain. Tout au long de l'histoire de notre planète, emportés par les mouvements des plaques auxquelles ils appartiennent, **les continents se sont assemblés, fracturés, éloignés puis assemblés de nouveau**. Ainsi, la plupart des grandes chaînes de montagnes récemment formées sont alignées entre les Alpes et l'Himalaya. Elles sont le résultat de la disparition d'un océan de très grande taille, la Téthys et de la collision entre deux continents, l'un situé au Nord qui s'appelait la Laurasie et l'autre, au Sud, appelé Gondwana. **L'aspect de notre planète a donc profondément changé au cours de son Histoire**.

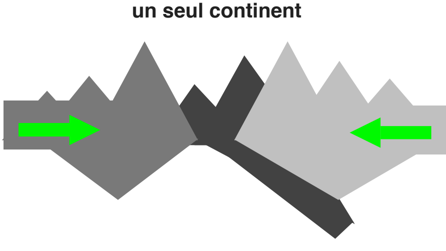


Reconstitution de l'emplacement des continents dans le *passé*: *il y a 225 millions d'années (M.A.), un «supercontinent», la Pangée, a commencé a se fragmenter. Ses morceaux sont les continents actuels, qui se réuniront un jours. Il est très difficile de reconstituer ce qui est arrivé aux continents avant cette date, car les indices, comme des chaînes de montagnes, ont été complètement détruits par l'érosion. Schémas USGS.*



1 - Fermeture d'un océan. *Deux continents se rapprochent, séparés par une lithosphère océanique qui disparait par subduction au niveau d'une zone où séisme et volcanisme sont bien représentés. Schéma RR.*

2 - Fermeture d'un océan. *La lithosphère océanique prise en sandwich entre les deux continents commence à se déformer, tout comme le continent A. Cette situation correspond à celle de la Méditerranée actuelle. Schéma RR.*



3 - Fermeture d'un océan. *Les deux continents se sont rencontrés et s'affrontent en se déformant, créant ainsi des montagnes. L'ancienne frontière des deux continents est marquée par des roches d'origine océanique (en noir) déformées et constituant elles aussi des montagnes. Cette situation est celle, actuellement, de l'Himalaya, ainsi que celle que l'on rencontre dans les Alpes. Schéma RR.*

QUESTIONS DE COURS

1/ Au niveau mondial, comment se répartissent les séismes et les volcans ?
2/ Qu'est-ce qu'une dorsale ?
3/ Qu'est-ce qu'une plaque tectonique ?
4/ Quelle est la différence principale entre lithosphère et asthénosphère ?
5/ Qu'est-ce qu'une frontière convergente ? Quel relief en est caractéristique ?
6/ A quel endroit les plaques sont-elles les plus épaisses ?
7/ Les plaques flottent-elles sur du magma ?
8/ Que se passe t'il au niveau d'une zone de subduction ?
9/ Quel est le relief formé lors de la collision de deux continents ?
10/ Quel est l'ordre de grandeur de la vitesse de déplacement des plaques tectoniques ?

COLLES

1/ Expliquez pourquoi on peut trouver, au sommet des plus hautes chaines de montagnes, des roches d'origine océanique. (2 pts)

2/ Comparez dans un tableau la lithosphère et l'asthénosphère au niveau de leur emplacement, leur consistance et leurs propriétés. (6 pts)

3/ La Terre est âgée de 4500 millions d'années. Pourtant, on ne trouve pas de roches d'origine océanique âgées de plus de quelques centaines de millions d'années. Pourquoi ? (4 pts).

4/ Expliquez pourquoi les séismes sont fréquents dans les zones de subduction. Donnez un exemple pour illustrer vos affirmations. (3 pts)

5/ L'expression ancienne «dérive des continents», est à la fois vraie et fausse. Expliquez pourquoi. (4 pts)

6/ Pourquoi les plaques de lithosphère «océanique» finissent-elles par «couler» dans l'asthénosphère ? Pourquoi cela n'est-il pas possible pour la lithosphère «continentale» ?

7/ Comment se fait-il que l'on retrouve les mêmes roches et les mêmes fossiles âgés de 230 millions d'années au Brésil et sur la côte ouest du continent africain ? (2 pts)

EXERCICES

1 - Land of the free (3 pts)

Benjamin Franklin, un des pères fondateurs des États-Unis d'Amérique, était un scientifique et un inventeur. En 1782, il écrivit : «*The crust of the Earth must be a shell floating on a fluid interior.*».

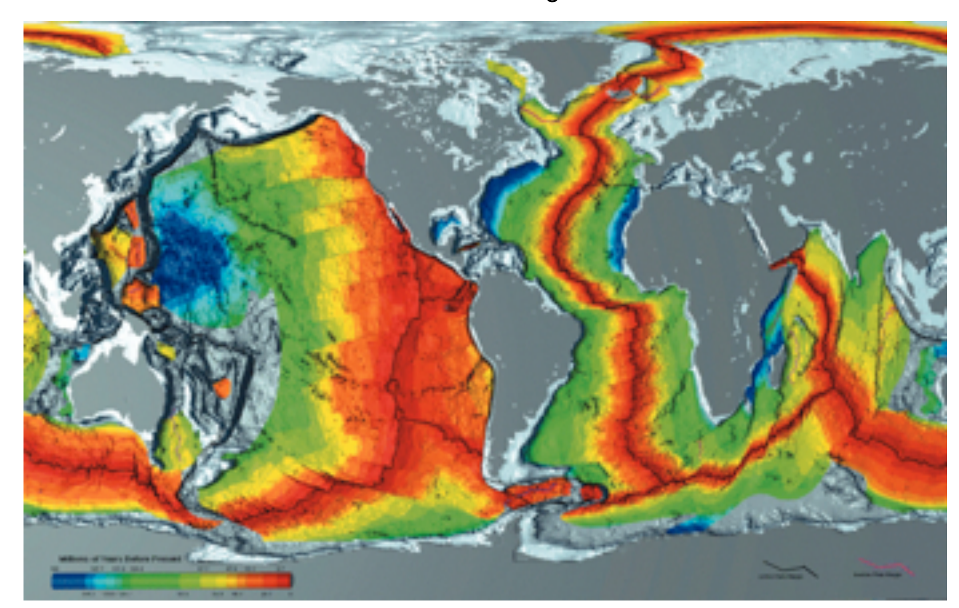
11 - Traduisez donc cette phrase en bon Français.
12 - B. Franklin se trompait-il ou pas ? Expliquez votre réponse (2 pts)

2 - Le précurseur (8 pts)

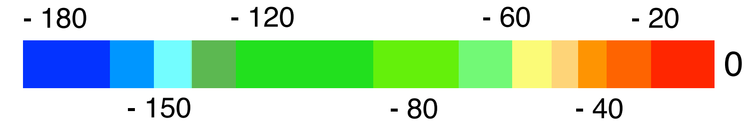
En 1915, A. Wegener publie son livre «La genèse des continents et des océans». Au chapitre 2, on peut y lire: « *Les paléontologues (...) sont invariablement amenés à la conclusion que la plupart des continents actuellement séparés par de grandes étendues océaniques doivent avoir eu anciennement une liaison continentale, sur laquelle s'est accompli un échange ininterrompu des flores et faunes terrestres. (…) L'Amérique du Sud doit avoir été contiguë à l'Afrique au point de constituer avec elle un bloc continental unique. Ce bloc s'est scindé pendant le Crétacé en deux parties qui se sont écartées dans le cours des temps comme dérivent les tronçons d'un glaçon se brisant dans l'eau. Les contours de ces deux socles sont encore aujourd'hui remarquablement semblables. Ce n'est pas seulement le grand coude saillant rectangulaire que présente la côte brésilienne au Cap San Roque qui est reproduit en sens inverse par le coude rentrant de la côte africaine au Cameroun, mais, pour les régions situées au sud de ces deux points, à chaque saillie de la côte brésilienne correspond une partie rentrante semblable de la côte africaine, de même qu'à chaque baie du côté brésilien correspond une saillie du côté de l'Afrique. Des mesures faites sur un globe terrestre montrent que leurs ampleurs sont identiques.*»

21 - Quels sont les indices, relevés par Wegener, qui indiquent que par le passé l'Amérique du Sud et l'Afrique étaient liées ? (2 pts)
22 - Quelle image donne Wegener pour illustrer cette séparation ? En quoi cette dernière est elle exacte, et en quoi est-elle inexacte? (5 pts)
23 - Quelle confirmation expérimentale est donnée par Wegener pour confirmer ses idées ? (1 pt)

3 - Sous l'Océan... (10 pts)
Le document ci-dessous est une carte de l'âge des fonds sous-marins .



Voici la légende des couleurs utilisées, les âges étant exprimés en millions d'années:



31 - Sachant que l'Atlantique a une largeur de 2840 km entre le Brésil, situé sur la côte est de l'Amérique du Sud, et le Libéria, situé sur la côte ouest de l'Afrique, et en vous aidant de l'âge des fonds océaniques présentés sur le document, donnez la vitesse à laquelle grandit la lithosphère océanique dans l'Océan Atlantique**.** (3 pts)

32 - A quoi voit-on que les dorsales ne fabriquent pas toutes de la lithosphère à la même vitesse ? (2 pts)

33 - Où est située la dorsale la plus active (qui produit le plus rapidement de la lithosphère) ? Et la plus lente ? (Expliquez vos réponses). (4 pts)

34 - Où est située la plus vieille lithosphère océanique du monde ? (1 pts)

4 - Terre de glace
L'Islande est une île volcanique, presque coupée en deux par un ensemble de grandes failles.

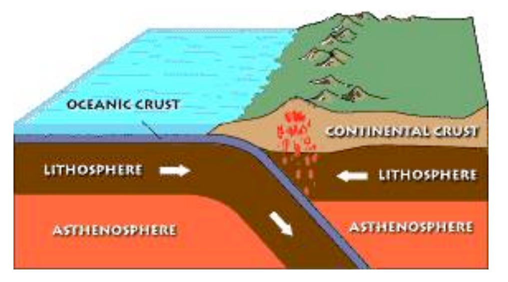
41 - Proposez une hypothèse reliant l'existence des failles en Islande et le volcanisme. (3 pts)

42 - La photo ci-dessous a été prise en juillet 2000 au parc national de Thingvellir. (*photo Wikimedia/Julius Agrippa*)



Expliquez pourquoi on peut dire que les promeneurs que l'on y voit sont en train de marcher sur le fond d'un futur océan. (3 pts)

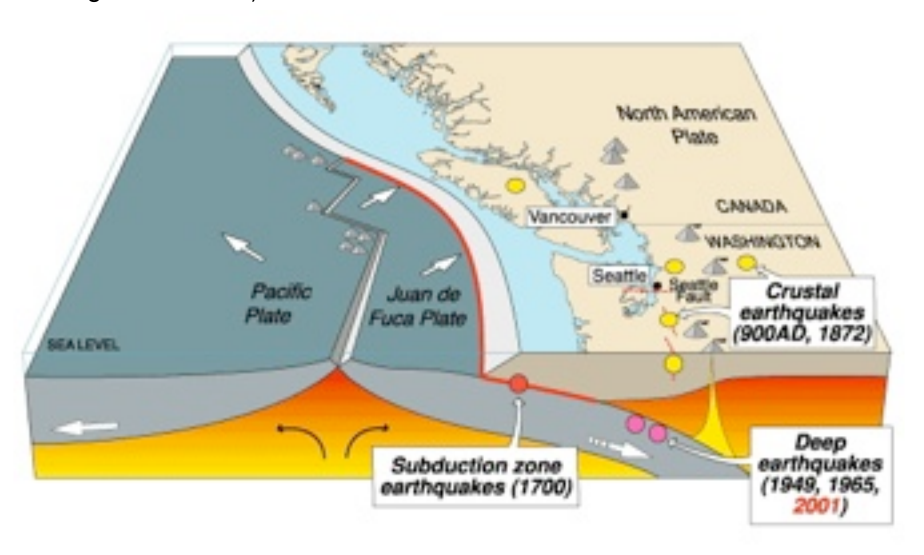
5 - Errare humanun est
Observez bien le schéma ci-contre.



51 - Que représente-t'il ? (1 pt)

52 - Le dessinateur qui a réalisé ce schéma (*source USGS*) n'a pas commis d'erreur, mais il a fait un choix assez malheureux, qui risque de provoquer une erreur. Quel a été ce mauvais choix ? (3 pts)

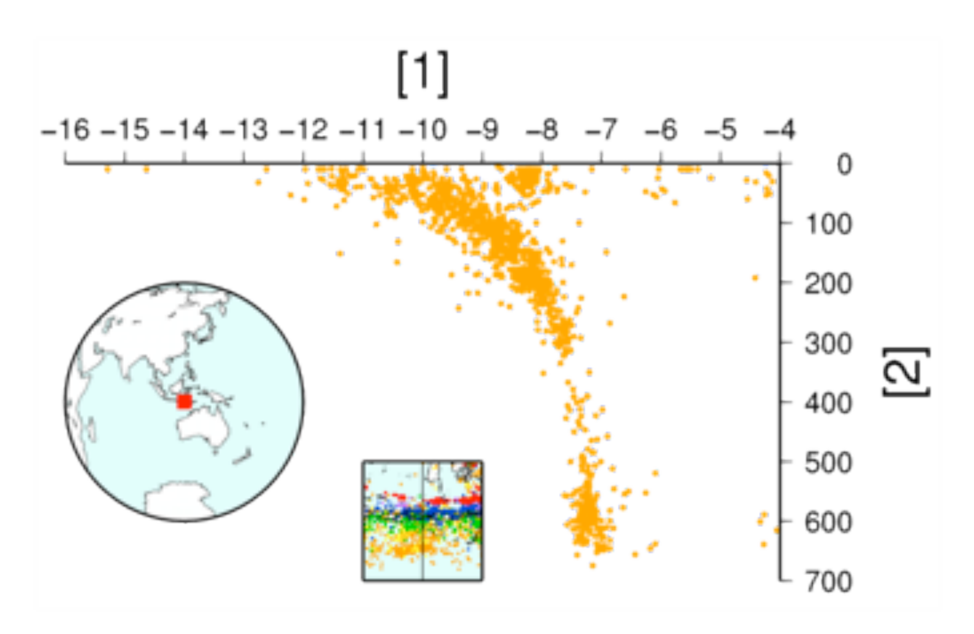
6 - Les commentaires sont libres (10 pts)
Le document ci-dessous est tiré d'un site de l'USGS traitant des séismes se déroulant sur la côte ouest de l'Amérique (Sud Ouest du Canada et état de Washington aux USA).



61 - Donner un titre à ce schéma (1 pt)
62 - Rédiger un commentaire sur les événements schématisés ici. (4 pts)
63 - Sans commettre à proprement parler une erreur, le dessinateur a fait un choix malheureux lorsqu'il a réalisé ce schéma. Lequel ? (2 pts)
64 - Les foyers de séismes remarquables sont situés sur le schéma. Pourquoi tous ces foyers ne sont-ils pas situés au niveau de la zone de contact entre les deux plaques ? (3 pts)

7 - F.A.M.O.U.S (6 pts)
En 1973 et 1974 a eu lieu l'expédition scientifique FAMOUS (French American Mid Ocean Underwater Survey), pendant laquelle une zone de dorsale de 100 Km² située à 2600 m de profondeur a été étudiée intensivement au moyen de 3 sous-marins et plus de 20 navires océanographiques.
71 - Traduisez en français la signification du sigle FAMOUS. (1 pt)
72 - Pour s'habituer à ce qu'ils risquaient de découvrir en plongée, les pilotes des sous-marins sont allés se former en Islande. Pourquoi donc ? (3 pts)
73 - Parmi les nombreuses découvertes réalisées, il y a l'absence totale de sédiments dans la région étroite (moins d'un km) située dans l'axe de la dorsale. Comment expliquer cette absence ? (2 pts)

8 - On s'enfonce (5 pts)
Le document ci-contre (USGS) montre l'emplacement des foyers des séismes sur les côtes d'Indonésie, au nord de l'Australie (en [1], la distance en km le long de l'axe nord-sud des mesures, en [2] la profondeur en km).



81 - Décrivez comment se répartissent les foyers des séismes (2 pts)
82 - Expliquez l'origine de cette répartition. Que peut-on en conclure au sujet de la région où ces relevés ont été effectués? (3 pts)

9 - Ça déchire (8 pts)
Dans l'est de l'Afrique, la «vallée du grand rift» est une dépression de quelques dizaines de km de large qui se prolonge sur plus de 6000 km, et est

profonde de quelques centaines de m. On y trouve à la fois de grands lacs (le Tanganika, le Malawi...) et de nombreux volcans actifs (voir carte) dont certains très célèbres (le Kilimandjaro, le mont Kenya...) sont éteints alors que d'autres, nombreux, sont très actifs (L'Erta Ale, le Dallol...). Les séismes y sont également fréquents.

91 - Quelle information peut-on tirer de l'emplacement des différents volcans, tels qu'ils sont représentés sur la carte ? (2 pts)
92 - Comment expliquer l'ensemble des phénomènes se déroulant dans cette région ? (4 pts)
93 - Dans quelques millions d'années, à quoi ressemblera cette région ? (vous pouvez faire un schéma pour exprimer vos idées) (2 pts)
Carte: *Wikimedia/Semhur*

10 - Les génies des alpages. (13 pts)
Les Alpes sont la chaine de montagnes la plus haute d'Europe. Elles forment un arc étalé sur plusieurs pays. C'est une des premières chaines de montagnes qui ait été étudiée. On trouve dans les Alpes plusieurs roches différentes:
- des calcaires et d'autres roches d'origine marine qui sont le résultat du dépôt de sédiments sur des fonds océaniques durant des dizaines de millions d'années.
- des basaltes, formant des coussins ou des tubes.

On observe également dans les Alpes des failles et des déformations des roches qui montrent que ces dernières ont subi l'application de forces très importantes.

10.1 - Recherchez, en vous aidant de la photo suivante (*vue satellite de la chaîne des Alpes: les sommets enneigés sont bien visibles, ainsi que la forme générale de la chaîne - NASA*) et d'un atlas, sur quels pays s'étendent les Alpes, et quel en est le sommet le plus élevé. (2 pts)



10.2 - Repérez la faille visible sur la photo suivante (*faille du Pas-Guiguet, au nord du fort de St Eynard. Photo Geol Alp, Maurice Guidon*), dont vous ferez un schéma titré et légendé.
Reconstituez la forme de la structure avant la déformation.
Cette déformation a-t-elle provoqué une élongation ou un raccourcissement de la structure ? (5 pts)



10.3 - À partir des documents suivants (Photos A et B), décrivez ce qui se situait à l'emplacement actuel des Alpes il y a 150 - 170 millions d'années. (2 pts)



Photo A: Laves en coussin visibles dans le massif du Chenaillet. Ces structures ont été formées il y a 170 millions d'années.

Photo Wikimedia/WeFt.



Photo B : La «tour» d'Aï , visible au premier plan, ainsi que celle de Mayen, derrière elle, sont des falaises de calcaire. La roche qui les compose a été formée dans un océan profond, il y a 150 millions d'années. *Photo Wikimedia/ Bernd Brägelmann*.

10.4 - Avec les connaissances que vous avez du cours précédent et vos réflexions provenant des questions précédentes, rédigez, en français correct, un paragraphe décrivant «l'histoire et l'origine des Alpes» depuis 170 millions d'années. (4 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ Au niveau mondial, les séismes et les volcans se répartissent le long d'alignements correspondant aux limites des plaques tectoniques. Il existe toutefois quelques volcans isolés.
2/ Une dorsale est une chaine de montagnes au niveau de laquelle une remontée de l'asthénosphère permet la formation de lithosphère océanique.
3/ Une plaque tectonique est une grande zone mobile de la surface de la Terre, rigide et peu déformable, épaisse d'une dizaine à une centaine de km, et flottant sur l'asthénosphère.
4/ La lithosphère, externe, est rigide alors que l'asthénosphère, plus profonde, est déformable (à une vitesse très lente, de l'ordre du cm/an).
5/ Une frontière convergente est la limite entre deux plaques se dirigeant l'une vers l'autre. Le relief qui en est caractéristique est une fosse océanique.
6/ Les plaques sont les plus épaisses aux endroits correspondant à des continents.
7/ Les plaques ne flottent pas sur du magma, mais sur l'asthénosphère, qui a pour l'essentiel le comportement d'un solide extrêmement visqueux.
8/ Au niveau d'une zone de subduction une plaque passe sous une autre.
9/ Lors de la collision de deux continents, le relief formé est une chaîne de montagnes.
10/ L'ordre de grandeur de la vitesse de déplacement des plaques tectoniques est le centimètre par an.

COLLES

1/ On peut trouver au sommet des plus hautes chaines de montagnes des roches d'origine océanique,e car les montagnes se forment lors de la collision de continents autrefois séparés par un océan. Des roches provenant de l'ancien fond océanique peuvent se trouver prises «en sandwich» entre les deux continents, et vont se retrouver intégrées dans la chaine de montagnes dont elles feront partie.

2/ Tableau comparant la lithosphère et l'asthénosphère au niveau de leur emplacement, leur consistance et leurs propriétés.

Couche	Lithosphère	Asthénosphère
Emplacement	Externe	interne
Consistance	Solide, peu déformable	Très légèrement fluide, déformable
Propriétés	Forme de grandes plaques rigides mobiles	non cassante, parcourue de courants très très lents

3/ On ne trouve pas de roches d'origine océanique âgées de plus de quelques centaines de millions d'années à cause de la subduction: les anciennes plaques «océaniques» ont depuis longtemps coulé dans l'asthénosphère, et sont inaccessibles ou détruites. On peut même en déduire qu'une plaque «océanique» possède une «durée de vie» qui se limite à quelques centaines de millions d'années. Ensuite, trop lourde, elle commence à disparaître en glissant lentement dans les profondeurs du globe...

4/ Les séismes sont fréquents dans les zones de subduction car la plaque plongeante «frotte», en s'enfonçant, contre celle qui la surplombe. Ces «frottements» provoquent des cassures des roches, et donc sont à l'origine d'ondes sismiques, donc de séismes.

On peut donner comme exemple la zone de subduction d'une partie des plaques du Pacifique sous la Californie, qui provoque de nombreux séismes dans cette région (les îles du Japon sont aussi un bon exemple).

5/ L'expression ancienne «dérive des continents» est :
- «vraie» car les continents voient bien, dans le temps, leur position changer lentement, ils «dérivent» bien, dans le sens où ils ne sont pas fixes.
- «fausse» car en réalité ce ne sont pas les continents tout seuls qui dérivent, mais les plaques dont ils font partie qui, elles, sont mobiles.

6/ Les plaques de lithosphère «océanique» finissent par «couler» dans l'asthénosphère car au fur et à mesure qu'elles vieillissent, elles deviennent

de plus en plus denses à cause de leur refroidissement et de l'accumulation de sédiments à leur surface.

Cela n'est pas possible pour la lithosphère «continentale» car celle-ci n'a pas de densité variable: elle est moins dense que l'asthénosphère et le reste, elle ne peut donc pas «couler» dedans.

***Remarque**: Il peut arriver toutefois qu'un continent soit alourdit, par exemple par une couche de glace de plusieurs km qui le recouvre, ce qui «l'enfonce dans l'asthénosphère». Si la glace fond, la continent va lentement «remonter». Parfois, des morceaux de continents peuvent être aussi entrainés dans l'asthénosphère au cours de subductions, mais ils ont toujours tendance à «remonter» vers la surface, et peuvent même y revenir.*

7/ On retrouve les mêmes roches et les mêmes fossiles âgés de 230 millions d'années au Brésil et sur la côte ouest du continent africain,n car à cette époque ces deux continents étaient réunis en un seul.

EXERCICES

1 - Land of the free (3 pts)

11 - «*The crust of the Earth must be a shell floating on a fluid interior.*» se traduit par «la croûte terrestre doit être une coquille flottant sur un intérieur fluide»

12 - Pour l'essentiel, B. Franklin ne se trompait pas. En effet, la lithosphère, par rapport aux dimensions de la Terre, est bien une fine «coquille» qui flotte sur un intérieur (l'asthénosphère) plus fluide, plus déformable. Ce que B. Franklin n'avait pas prévu, c'est que cette coquille était brisée en plusieurs morceaux, les plaques tectoniques...

2 - Le précurseur (8 pts)

21 - Les indices relevés par Wegener indiquant que par le passé l'Amérique du Sud et l'Afrique étaient liées sont:

- des fossiles identiques (il parle des paléontologues, et vous avez sans doute regardé dans un dictionnaire, si vous ne le saviez pas, de quoi s'occupe un paléontologue, non ?)
- la correspondance des contours des deux continents (en particulier, mais pas uniquement, la correspondance entre le cap San Roque au Brésil et la côte du Cameroun en Afrique)

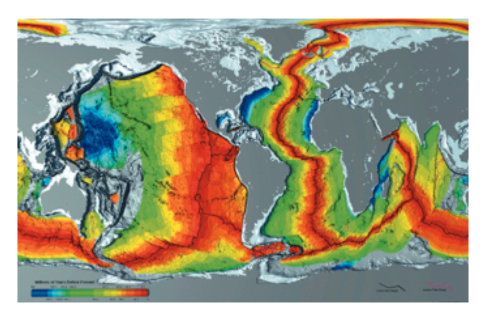
22 - Pour illustrer cette séparation, Wegener donne l'image suivante: «*deux parties qui se sont écartées dans le cours des temps comme dérivent les tronçons d'un glaçon se brisant dans l'eau*».
Cette image est exacte, car les bords des deux continents se correspondent bien, comme le feraient les bords d'un glaçon brisé; mais par contre, elle est inexacte (ou insuffisante) parce que ce ne sont pas les continents seuls qui se séparent en flottant sur un fluide, mais les plaques qui les portent qui se séparent, l'espace étant comblé par la formation de lithosphère «océanique».
Pour reprendre l'image de Wegener, c'est comme si un glaçon était prisonnier d'une mince couche de glace: le glaçon et la couche se casseraient et s'éloigneraient alors que de la glace mince se formerait toujours entre les deux morceaux du glaçon, au fur et à mesure qu'ils se sépareraient...

23 - Wegener présente comme confirmation «expérimentale» des mesures qu'il a effectuées sur un globe terrestre (donc une carte qui permet des mesures bien plus exactes que celles que l'on obtient sur une feuille), et qui montrent que non seulement les formes des cotes est de l'Amérique du Sud et Ouest de l'Afrique se correspondent, mais que les dimensions des parties qui semblent s'emboiter sont identiques.

3 - Sous l'Océan... (10 pts)

31 - Le Brésil et le Libéria sont actuellement distants de 2840 km. Si on regarde la carte, on voit que les fonds océaniques les plus vieux entre ces pays, ceux qui sont au contact des continents, sont de couleur verte, ce qui correspond à un âge de 120 millions d'années environ d'après la légende. Il a donc fallu 120 millions d'années pour «fabriquer» 2840 km de lithosphère.

La vitesse, c'est la distance/ le temps. Ici, si on divise 2840 par 120 millions d'années, on obtient une vitesse de fabrication de 0,00002 km/an, soit 2 cm/ an environ.



32 - On voit que les dorsales ne fabriquent pas toutes de la lithosphère à la même vitesse à la largeur différente des «bandes» de fond océanique du même âge (donc de même couleur sur la carte). Cette différence de largueur s'explique par une différence de vitesse de formation des roches: plus la formation est rapide et plus l'étendue d'une même couleur de par et d'autre de la dorsale est grande.

33 - Si on prend l'exemple des terrains «rouge-orange» formés en 30 millions d'années environ, on voit que la dorsale atlantique a fabriqué une étendue bien moins grande de lithosphère que la dorsale du Pacifique. Cette dernière fabrique donc de la lithosphère plus rapidement. C'est même la plus active, alors que la moins active (bande la plus étroite) est la dorsale située au sud-est de la pointe sud du continent africain.

34 - La plus vieille lithosphère océanique du monde (en bleu foncé sur la carte) se situe à l'ouest du Pacifique, au niveau de la côte est du Japon.

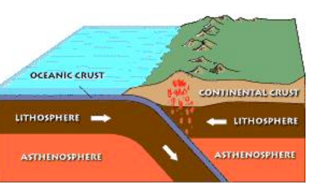
4 - Terre de glace

41 - L'Islande est une île presque coupée en deux par une dorsale. A ce niveau, il se produit un écartement des plaques de part et d'autre de la dorsale. Cela signifie que la roche, en Islande, est soumise à des forces qui «tirent» dessus, ce qui a pour conséquence de la fracturer, de la casser: des failles se forment. On peut faire l'hypothèse que cet étirement de la lithosphère, provoquant la formation de failles, amincit la lithosphère, ce qui permet à l'asthénosphère d'être plus proche de la surface, et provoque la formation locale de magma, donc d'une activité volcanique.



42 - Les promeneurs du parc national de Thingvellir sont en train de marcher sur le fond d'un futur océan, car ce parc se situe dans l'axe de la dorsale. On peut d'ailleurs voir sur la photographie les bords «extrêmes» des deux plaques, formant un étroit défilé. Ces parois s'écartent en moyenne de quelques cm par an, au fil des séismes. La route est tracée entre ces falaises, donc au niveau où se formera (et a commencé à se former) de la lithosphère océanique, plancher d'un futur océan.

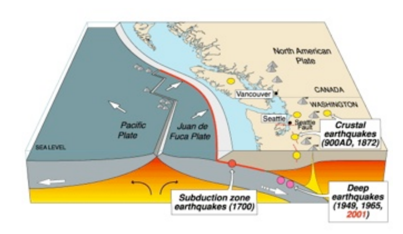
5 - Errare humanun est



51 - Le schéma représente une zone de subduction.

52 - Le dessinateur a mal choisi la couleur avec laquelle il représente l'asthénosphère. En effet, il l'a colorée en orange foncé, couleur qui peut faire penser à du magma, ce qui est contraire à la réalité: l'asthénosphère est, à notre échelle de temps, une roche «solide», même si elle est chaude, et ne ressemble donc pas à du magma !

6 - Les commentaires sont libres (10 pts)



61 - Titre de ce schéma. Il y a bien sûr plusieurs possibilités. Citons comme exemples: «zone de subduction de l'est du pacifique», «mouvement de la plaque Juan de Fuca» (son nom est lisible), «origine des séismes se déroulant au Sud Ouest du Canada et dans état de Washington» (en reprenant les indications de la question...).

62 - Commentaire
La plaque Juan de Fuca prend naissance au niveau d'une dorsale située sous le Pacifique, à proximité des côtes du continent nord-américain. Cette plaque plonge rapidement sous le continent (le nord de la dorsale est même déjà sous le continent). En plongeant, la plaque provoque des séismes dont les foyers se situent au large, sous l'océan; mais aussi, plus profondément, à la verticale de villes comme Seattle ou Vancouver. La perte de l'eau contenue dans cette plaque favorise la formation de magma visqueux, créant une chaine de volcans explosifs sur le continent (cônes gris du schéma).

63 - Le dessinateur a fait un choix malheureux et incohérent de couleurs pour représenter l'asthénosphère et le magma. En effet, sous la dorsale, la couleur rouge semble représenter le magma qui se forme (mais alors il est présent en trop grande quantité). Par contre, sous les volcans, le magma qui se forme est coloré en... jaune! De plus, le schéma laisse penser qu'il existe une couche de magma (rouge, comme à la dorsale) sous le continent, ce qui est faux.

64 - Les foyers de nombreux séismes sont situés au niveau de la zone de contact des plaques (points rouges) mais il existe aussi des foyers, notés en jaune, situés bien plus près de la surface. Pourquoi ? Il faut se rappeler qu'un séisme est déclenché par la cassure d'une roche soumise à des forces. Ici, la subduction de la plaque tend à «bomber» le continent, dont la surface va se déformer «en arc de cercle». Comme les roches de la lithosphère ne sont pas très déformables, elles vont donc casser près de la surface, ce qui va provoquer ces séismes. (*La question était difficile, il fallait bien réfléchir à la **cause** des séismes et chercher un **mécanisme pour l'expliquer**, ce qui est une démarche scientifique!*).

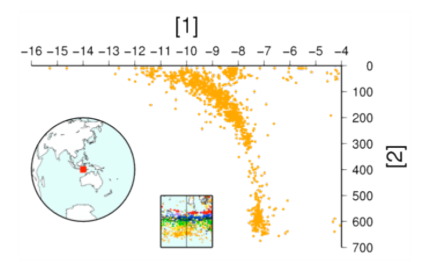
7 - F.A.M.O.U.S (6 pts)

71 - Le sigle FAMOUS signifie French American Mid Ocean Underwater Survey, ce qui en français nous donne «étude franco-américaine sous-marine du milieu de l'océan». Le sigle FAMOUS constitue un mot qui lui aussi veut dire «fameux, exceptionnel», ce qui soulignait la caractère nouveau et jamais tenté, à l'époque, de ce type d'étude.

72 - Les pilotes des sous-marins sont allés se former en Islande pour s'habituer à ce qu'ils risquaient de découvrir en plongée, car ce pays est le seul exemple de dorsale que l'on peut visiter à pied sec, et ils vont plonger au milieu de l'Atlantique, donc au niveau de la même dorsale, mais sous l'eau. Il y a donc de bonnes chances qu'ils y retrouvent le même type de relief (falaises, roches, fissures, failles...).

73 - Depuis la cinquième, vous savez que les sédiments se déposent lentement dans le fond des cours d'eau, donc des vallées, et au niveau des océans et des mers. Ce dépôt se fait de façon à peu près continue, mais il est très lent. Or, dans l'axe de la dorsale, le fond de l'océan est très «jeune», géologiquement parlant (quelques millions d'années), ce qui signifie que les sédiments n'ont pas eu le temps d'y parvenir et surtout de s'y accumuler. Cette absence, en fait, contribue à prouver la jeunesse de la roche formée à cet endroit.

8 - On s'enfonce (5 pts)



81 - Les foyers des séismes se répartissent selon un arc de cercle de plus en plus profond. Ils sont tout d'abord superficiels, puis plongent rapidement à plus de 600 km de profondeur, selon une ligne qui devient presque verticale.

82 - Cette répartition s'explique par la subduction d'une plaque qui plonge très rapidement dans l'asthénosphère, en frottant sur la plaque qui la surplombe et en se cassant, ce qui provoque des séismes même à très grande profondeur.

On peut en conclure que la région où ces relevés ont été effectués est située sur une frontière convergente de plaques, et qu'il s'y produit de

nombreux et puissants séismes, ainsi que des éruptions volcaniques de type explosif (ce type de volcanisme étant associé aux zones de subduction).

9 - Ca déchire (8 pts)



91 - Sur la carte, les volcans sont alignés selon une direction nord-sud, le long d'une ligne pointillée. On peut tirer de cette chaine de volcans la conclusion que l'on doit se trouver au niveau de la frontière d'une plaque.

92 - Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'ensemble des phénomènes se déroulant dans cette région, mais une seule les explique tous.

Tout d'abord, l'alignement des volcans et les séismes peuvent faire penser à une zone de subduction. Toutefois, deux phénomènes ne s'expliqueraient pas dans ce cas: le fait que l'on soit à l'intérieur d'un continent (et non en bordure), et le grand nombre de grands lacs comme le Tanganika ou le Malawi.

Les lacs peuvent nous mettre sur la voie: ils occupent des «creux» du terrain, emplis par les pluies. La seule situation où l'on a à la fois séismes, volcanisme et formation de creux dans l'intérieur d'un continent est lorsque ce dernier est étiré, au début de la formation d'un océan. On peut donc faire l'hypothèse que l'on se trouve ici au niveau d'un océan en train de «s'ouvrir».

93 - Dans quelques millions d'années, cette région ressemblera à la mer Rouge (située plus au nord): deux continents, l'Afrique et l'actuelle partie est de ce continent, devenue «indépendante» de la plaque africaine, seront séparées par une mer étroite (situation du premier schéma de la p. 13).

10 - Les génies des alpages. (13 pts)

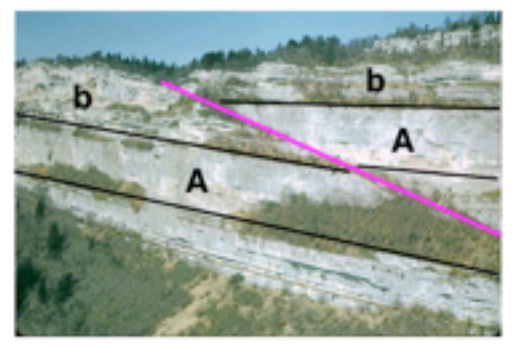
Les Alpes sont la chaine de montagnes la plus haute d'Europe. Elles forment un arc étalé sur plusieurs pays. C'est une des premières chaines de montagnes qui ait été étudiée. On trouve dans les Alpes plusieurs roches différentes:

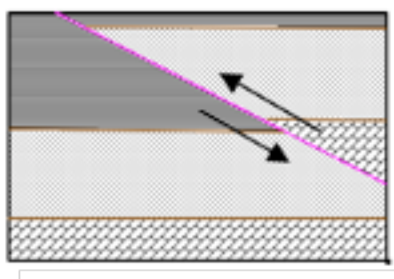
- des calcaires et d'autres roches d'origine marine qui sont le résultat du dépôt de sédiments sur des fonds océaniques durant des dizaines de millions d'années.
- des basaltes, formant des coussins ou des tubes.

On observe également dans les Alpes des failles et des déformations des roches qui montrent que ces dernières ont subi l'application de forces très importantes.

10.1 - Sur la vue satellite, et mêmes dans un atlas, vous devez avoir identifié sans difficultés le nord de l'Italie. A partir de ce point de repère, vous avez dû trouver que les Alpes s'étendent sur le nord de l'Italie (justement), le sud-est de la France, la Suisse, le sud de l'Allemagne, l'Autriche et la Slovénie. Le sommet le plus élevé est le mont-blanc (4810 m).

10.2 - Sur la photo, la faille barre transversalement la falaise, décalant les couches A et b (votre schéma devrait ressembler à celui de droite, la faille est en rose).





Pour reconstituer la forme de la structure avant la déformation., il faut faire glisser par la pensée la faille en sens inverse de son mouvement. On obtiendrait alors une superposition des trois couches de roches horizontales, comme cela:

Le sens de la déformation montre bien que la structure, la roche ont été comprimées, puisque la partie de droite est montée «sur» celle de gauche: la faille a permis le raccourcissement de la structure.

10.3 - Les documents présentent des laves en coussins âgées de 170 millions d'années ainsi que des roches calcaires de 150 millions d'années, le tout se trouvant dans la chaîne des Alpes. A l'emplacement actuel des Alpes, il y a 170 millions d'années, on trouvait une activité volcanique sous-marine dont la trace est la lave en coussin. Il s'agissait probablement de la formation de lithosphère océanique au niveau d'une dorsale. 20 millions d'années plus tard, on trouve les traces d'une sédimentation ayant eu lieu dans un «océan profond». On peut donc penser qu'à cette époque, l'emplacement actuel des Alpes était occupé par un profond océan aujourd'hui disparu.

10.4 - «Histoire et origine des Alpes» depuis 170 millions d'années.
En utilisant les informations fournies, on peut reconstituer le scénario suivant:

- Il y a plus de 170 millions d'années, un océan (ou une mer) sépare le nord de l'Italie actuelle du reste de l'Europe. Sur le fond de cet océan, on trouve une activité volcanique qui produit des laves en coussins.
- Progressivement, alors que des sédiments se déposent sur les fonds océaniques profonds, une subduction se met en place, et cette mer commence à se refermer.
- Il y a moins de 150 millions d'années, le mouvement des plaques finit de faire «couler» dans l'asthénosphère la lithosphère océanique de cet ancien océan. Il en reste toutefois quelques morceaux qui vont être pris en sandwich entre l'Europe et l'Italie du nord.
- Les continents entrent en collision, il se forme petit à petit une chaine de montagnes en forme d'arc de cercle, et des matériaux océaniques, selon les déformations du sol et les mouvements liés aux failles, se retrouvent incorporés dans ces montagnes, où on les trouve encore aujourd'hui!

L'enfer des copies

Bêtises lues dans les exercices & devoirs...

1) Entre les plaques, il y a des fissures pleines de Magma

NON ! Les plaques sont jointives, c'est pour cela qu'elles frottent les une sur les autres...

2) La lithosphère glisse sur l'asthénosphère qui est lisse

Ben voyons! l'asthénosphère n'a rien de lisse, ce n'est **PAS** une étendue liquide!

3) la lithosphère flotte sur du magma en fusion

Répétons bien fort: **L'ASTHENOSPHERE SE COMPORTE COMME UN SOLIDE. ON NE TROUVE DE MAGMA QUE SOUS LES VOLCANS.**

4) Dans l'asthénosphère, il y a des courants qui poussent la lithosphère

Nan! Les courants existent, mais sont bien trop faibles pour faire cela, ils accompagnent le mouvement, mais ne font pas le gros du travail.

5) La lave qui monte dans la dorsale pousse les plaques.

Et non! les plaques sont «**tirées**» par la subduction, pas «poussées» par les dorsales!

6) La plaque qui plonge descend à des millions de km .

Hum... le centre de la Terre n'est «qu'à» 6350 km sous nos pieds...

7) la plaque qui plonge fond et ça forme le magma des volcans explosifs.

Pas du tout. La plaque perd de l'eau, qui en remontant va permettre la formation de magma...

Glossaire



L'Himalaya est une chaine de montagnes causée par la collision du continent Indien et de l'Asie, autrefois séparés par un océan disparu - Photo NASA.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. N' est donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Archipel : ensemble d'îles voisines

Asthénosphère : Couche profonde de la Terre où les roches ont un comportement ductile: elles peuvent s'y déformer, sous une forte pression, à des vitesses de l'ordre du cm/an.

Basalte : roche volcanique de couleur sombre, issue d'un magma refroidi rapidement.

Climatologie: science du climat et de son évolution dans le temps.

Collision: rencontre des parties continentales (qui ne «coulent» pas dans l'asthénosphère) de deux plaques se déplaçant dans des directions opposées.

Communauté: ensemble de personnes qui partagent un intérêt ou un métier commun.

Concepteur: celui qui construit une idée, une théorie, mais aussi les plans d'un objet ou d'une machine

Dorsale : Chaîne de montagnes sous-marine, caractérisée par une forme arrondie et la présence, dans son axe, d'un intense volcanisme effusif.

Ductile : qui peut être étiré sans se casser, se dit de ce qui est malléable (comme de la pâte à modeler).

Enfouissement: disparition dans les profondeurs de la Terre.

Fosse océanique : dépression sous-marine profonde, longue et étroite

Frontière convergente : ligne de rencontre entre deux plaques de rapprochant l'une de l'autre.

Frontière divergente : limite séparant deux plaques qui s'éloignent l'une de l'autre

Granite : roche de couleur claire, composée de minéraux de grande taille formant des grains.

Hypothèse : supposition logique permettant d'expliquer l'origine ou le déroulement d'un phénomène.

Interprétation : Explication d'une observation en utilisant une théorie, un ensemble d'idées particulier. *Exemple: on voit, chaque jour, le soleil traverser le ciel, de l'est à l'ouest. On peut interpréter ce phénomène de deux façons: soit en disant que le Soleil tourne autour de la Terre (ce qui est faux), soit en disant que c'est la Terre qui tourne sur elle-même.*

Laves en coussin : Laves émises par des volcans sous-marins, et qui prennent une forme de «boules» ou de cylindres à cause de la pression de l'eau.

Lithosphère : Couche supérieure de la Terre, rigide et cassante, formée de roches accessibles en surface.

Plaques tectoniques : morceaux de lithosphère formant toute la partie externe de la Terre.

Magnitude : intensité d'un séisme.

Modèle : ensemble cohérent de théories et d'observations, confirmé par des expériences, qui décrit la réalité.

Paléontologie : science des formes de vies du passé, étudiant principalement les divers fossiles.

Pertinente : juste, logique, bien réalisée ou imaginée.

Philosophe: personne qui réfléchit et recherche la cause des phénomènes naturels. Les philosophes sont les «ancêtres» des scientifiques modernes.

Précurseur: Celui (ou celle) qui le premier a une idée nouvelle, qui se développera par la suite.

Relief: les formes que peut prendre la surface de la Terre.

Sismique: qui a un rapport avec les séismes, ou bien se dit q'une région où les séismes sont fréquents.

Soufflé : pâtisserie qui «gonfle» rapidement et de façon très importante au four, et doit être consommée rapidement sous peine de «retomber».

Sonar : appareil qui utilise les ondes sonores émises dans l'eau et recueillies après que les objets sous-marins les aient renvoyées pour construire une image des fonds marins ou de tout objet sous-marin.

Subduction : passage d'une plaque tectonique sous une autre.

Autour des plaques tectoniques...

En 1866, le peintre Albert Bierstadt a représenté une tempête dans les montagnes Rocheuses, chaine provenant de la subduction de la lithosphère de l'est du Pacifique sous la plaque nord-américaine. Photo Brooklyn muséum.

Idées de voyage

Les chaines de montagnes sont un des meilleurs endroits pour observer les effets des mouvements des plaques! De plus, elles offrent, en toutes saisons, des paysages magnifiques et, en hiver, les attraits du ski, si l'on peut le pratiquer. En France métropolitaine, nous avons bien entendu les Pyrénées et les Alpes, mais dans le monde il est aisé de trouver :

- des chaines liées à une subduction: les rocheuses aux USA et au Canada, la cordillère des Andes en Amérique du Sud.
- des chaines liées à une collision: l'Himalaya.

Idées de lecture

Il existe assez peu de livres faciles à lire sur le sujet. Citons:
Expédition "Famous" à 3000 mètres sous l'Atlantique, par C. Riffaud et X. le Pichon, (Albin Michel, 1975) un livre ancien que vous pouvez trouver dans les CDI et qui raconte la première exploration d'une dorsale.

Idées de films

Plusieurs documentaires accessibles, en particulier par YouTube, mais très souvent ils risquent de vous induire en erreur: ces films, assez anciens, où mal réalisés, montrent une asthénosphère en magma et ne montrent pas que la subduction est le «moteur» des plaques...

Une conférence intéressante de X. le Pichon, un des «découvreurs» et explorateurs français des dorsales (vous pourrez même télécharger le texte).

Dédicace



Ce chapitre est dédié à Alfred Wegener (1930), astronome et météorologue, qui eu l'idée que les continents avaient dû se mouvoir au cours des temps géologiques. Incompris et moqué par la plupart de ses collègues, il trouva peu de soutiens pour sa théorie de la «dérive des continents». Explorateur des régions polaires et en particulier du Groenland, il y mourut de froid au cours d'une expédition scientifique en novembre 1930 en compagnie de son collègue Rasmus Villumsen.

Le pont le plus «long»



Parmi plusieurs «curiosités» géologiques, l'Islande possède le pont le plus «long», puisqu'il relie l'Europe à l'Amérique! Plus précisément, cette passerelle relie la plaque Europe-Asie à la plaque nord-américaine en franchissant une des failles constituant la dorsale, frontière entre les plaques. Photo Wikimedia/Reiykholt

L’activité de la planète engendre des risques pour les humains

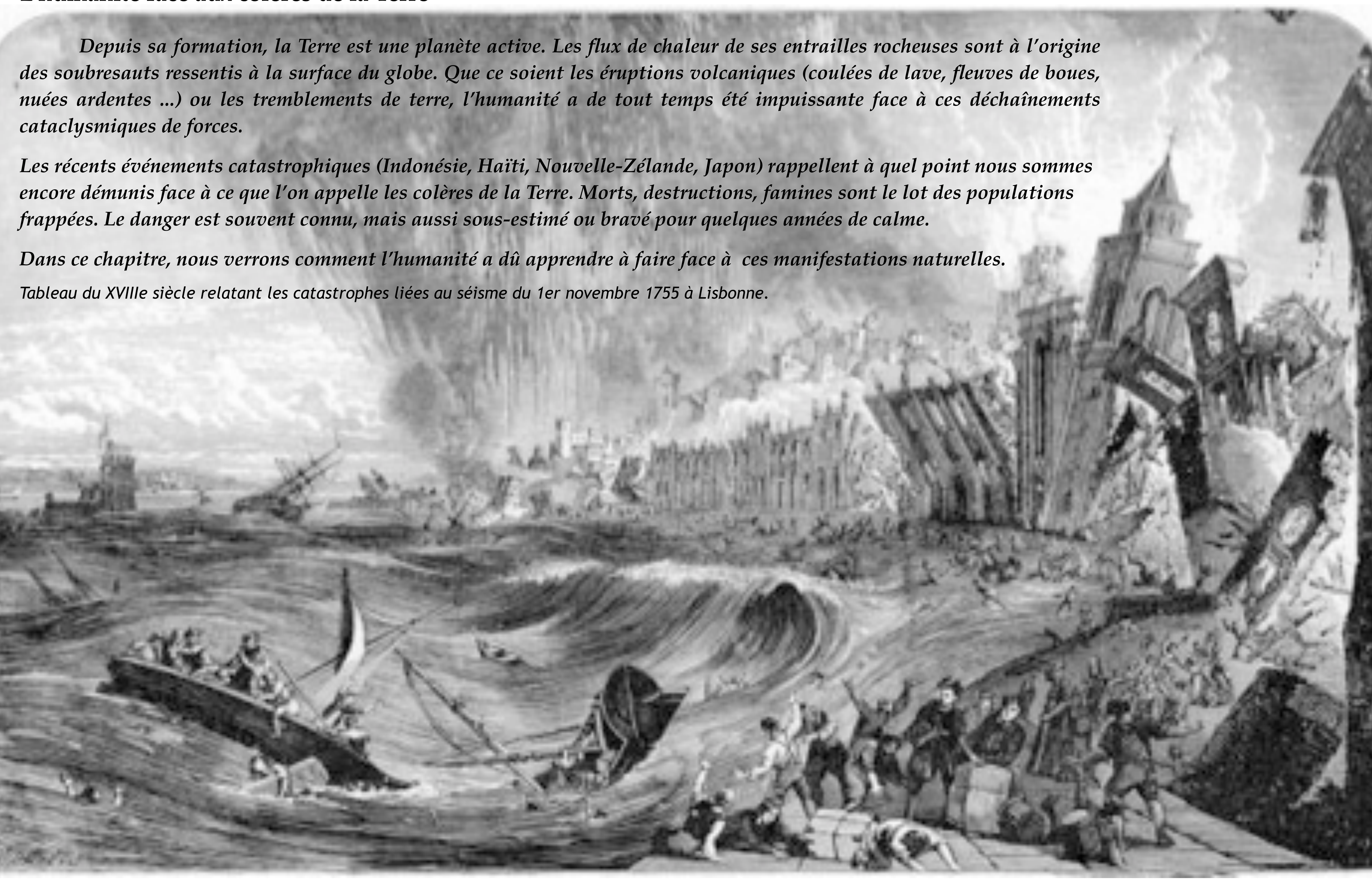


La Terre est une planète géologiquement active, et cette activité, créant séismes et éruptions volcaniques, peut se révéler destructrice, que ce soit pour les paysages naturels ou pour les constructions humaines.
Quels sont les risques créés par cette activité interne ? L'humanité peut-elle y faire face ?

SOMMAIRE

Coulée de lave destructrice à Hawaii en 1990 - Photo USGS.

L'humanité face aux colères de la Terre



Depuis sa formation, la Terre est une planète active. Les flux de chaleur de ses entrailles rocheuses sont à l'origine des soubresauts ressentis à la surface du globe. Que ce soient les éruptions volcaniques (coulées de lave, fleuves de boues, nuées ardentes ...) ou les tremblements de terre, l'humanité a de tout temps été impuissante face à ces déchaînements cataclysmiques de forces.

Les récents événements catastrophiques (Indonésie, Haïti, Nouvelle-Zélande, Japon) rappellent à quel point nous sommes encore démunis face à ce que l'on appelle les colères de la Terre. Morts, destructions, famines sont le lot des populations frappées. Le danger est souvent connu, mais aussi sous-estimé ou bravé pour quelques années de calme.

Dans ce chapitre, nous verrons comment l'humanité a dû apprendre à faire face à ces manifestations naturelles.

Tableau du XVIIIe siècle relatant les catastrophes liées au séisme du 1er novembre 1755 à Lisbonne.

Un séisme meurtrier: le tremblement de Terre de la Toussaint 1755 à Lisbonne, capitale du Portugal

Le 1er novembre 1755, vers 9h30, Lisbonne a subi un séisme de très forte intensité, suivi par l'incendie de la ville et un raz-de-marée. Cela provoqua la destruction d'une grande partie de la ville et la mort de près de 30 000 personnes. Cette catastrophe va tellement marquer les esprits que des centaines d'écrits vont contribuer à faire connaître le déroulement des événements. La description des séismes ne sera plus jamais la même après ce 1er novembre 1755.

En ce jour de Toussaint, la plupart des 250 000 habitants de Lisbonne étaient dans les églises. Dès les premières secousses, les clochers et les flèches des édifices commencent à osciller, «*comme des blés sous le vent*» diront les témoins. Tout le monde sort donc dans la rue. Églises et maisons se vident. C'est à ce moment qu'une deuxième secousse survient. Les bâtiments, déjà très fragilisés par les premières secousses, s'écroulent. Un gigantesque nuage de poussière recouvre les gravats. Les habitants sont piégés sous les décombres de leur ville. Le nombre de morts est considérable. Les secousses, extrêmement fortes, sont ressenties partout en Europe. Au Luxembourg, distant de 2500 km, une caserne s'effondre et tue 500 soldats. Des maisons s'écroulent aussi au Maghreb.

Les survivants cherchent alors à se réfugier loin des bâtiments encore debout. Ils se croient sains et saufs sur les quais. Pour eux, les bords du Tage, peu construits, ne sont pas dangereux. Les témoins survivants ont décrit plus tard le retrait des eaux du Tage et de l'océan, qui semblent disparaitre à l'horizon. Les fonds marins sont nus, totalement à sec. Ce n'est que quelques minutes plus tard que la mer revient. Sa vitesse est affolante, et c'est une vague de plus de quinze mètres de haut qui va déferler sur les survivants du séisme et sur les décombres de la ville basse. Des bateaux sont emportés à l'autre bout de la ville. Lorsque les éléments déchainés se retirent, ils emportent leur lot de cadavres et de débris vers le large. Cette vague énorme a balayé l'Atlantique et la Méditerranée. Des villes côtières d'Afrique sont rayées de la carte, et plusieurs ports français, anglais ou hollandais ont été très perturbés.

Peu après, les incendies se déclenchent. Un peu partout, Lisbonne, déjà écroulée et noyée, prend feu, les bois et charpentes écroulées s'enflammant. Un immense brasier détruit les restes de la cité portuaire. Il ne s'éteindra qu'au bout de trois jours, lorsqu'il n'y aura plus rien à bruler. Lisbonne, capitale richissime du Portugal, fierté du pays dans ses parures d'or et de soie, recélant des trésors et d'innombrables oeuvres d'art en provenance du monde entier, Lisbonne n'est plus qu'un tas de ruines et de cendres fumantes.

Cette catastrophe va entraîner des débats violents sur son origine et ses conséquences. Les partisans de la colère divine vont s'opposer aux philosophes qui chercheront les causes naturelles, sans réellement pouvoir expliquer le déchainement de violences subies par la ville. Voltaire y placera un chapitre de son Candide, tandis que Rousseau raillera l'imprévoyance de l'Homme. Pour lui, si les Portugais avaient construit leur ville plus loin, rien n'aurait pu arriver. Il écrira même, dans une logique discutable, que si les malheureux Portugais avaient habité dans les bois, comme leurs ancêtres, les maisons n'auraient pu s'écrouler sur eux !



***Destruction**. Gravure d'époque représentant la destruction de Lisbonne par un tremblement de terre suivi d'un raz de marée et d'un incendie géant le 1/11/1755.*



***Une trace actuelle.** Fissure et éboulement sur l'île de Lundy, à l'ouest du Pays de Galles. Ces reliefs se sont formés le 1er novembre 1755 à cause du séisme qui détruisit Lisbonne, à 1500 Km de là. Photo G Sherman/ geograph.org.uk/ Wikimedia.*

PRÉVENIR LES RISQUES SISMIQUES

Les séismes font partie des risques naturels majeurs, comme les avalanches, les inondations, les cyclones, les tempêtes, les éruptions volcaniques et les glissements de terrain.

Le vulcanologue Haroun Tazieff définissait ainsi un risque majeur : «*c'est une menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, une menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre* ».

Les connaissances sur l'origine et le déroulement des tremblements de terre ont abouti à des recherches sur la prévision des séismes, cherchant à développer la prévention, c'est-à-dire la réduction des risques liés aux séismes.

La probabilité pour une région de subir une secousse sismique d'une intensité donnée a été appelée **aléa sismique**. Pour le déterminer, il faut pouvoir évaluer la magnitude, l'intensité et la profondeur du foyer. Cela doit être fait non seulement pour les séismes récents, mais aussi pour les séismes anciens. Si on peut obtenir la date et l'intensité d'un ensemble de séismes, et donc reconstituer l'histoire sismique d'une région, on peut calculer la fréquence des séismes à un endroit donné.

En mille ans, 5000 séismes ont été répertoriés en France. Si la France métropolitaine se trouve dans une zone de sismicité modérée, des départements d'outre-mer se situent, eux, dans une zone de forte sismicité. En métropole, le plus fort séisme enregistré depuis 1900 a été celui de Rognes, en Provence, le 11 juin 1902, qui a atteint une magnitude de 6,2 (estimation sur l'échelle de Richter). En 1843, le plus grand séisme en France depuis trois siècles a ravagé les îles de Guadeloupe et Antigua; sa magnitude était comprise entre 7,5 et 8. Ces îles ont été déplacées de près de cinq mètres.

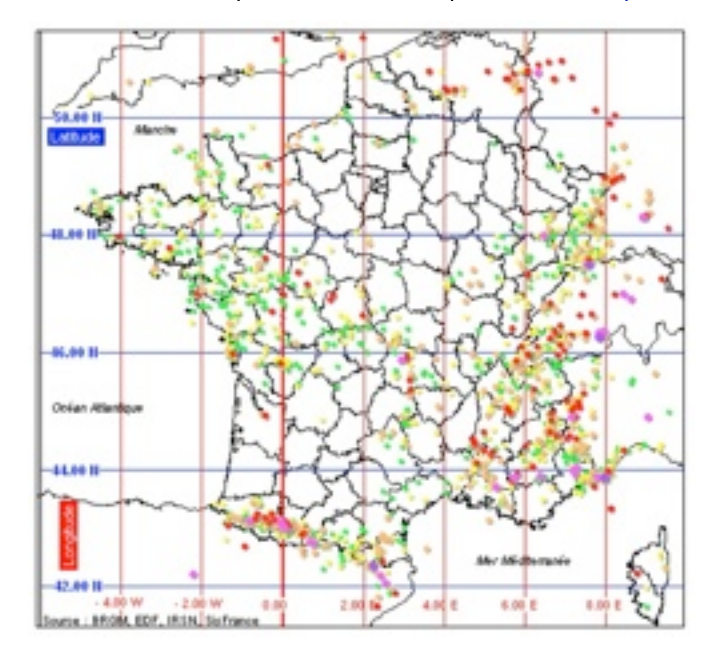
Pour définir le risque sismique, on doit aussi tenir compte des caractéristiques des constructions humaines: leur résistance aux vibrations du sol et leur emplacement. Ce dernier est important: les spécialistes parlent «d'effet de site», car selon sa composition le sous-sol réagit différemment aux ondes sismiques, et peut en accentuer les effets destructeurs. Ainsi, les roches du sous-sol peuvent amplifier les ondes sismiques, comme à Mexico en 1969; ou bien un sous sol sableux, agité en tous sens par les ondes sismiques, peut se comporter alors comme un liquide et «engloutir» les bâtiments qu'il supporte, comme cela a été le cas à Kobe (Japon, 1995), où de nombreux bâtiments se sont écroulés dans certaines parties de la ville construites sur des îles artificielles, dans le port.

Il ne suffit donc pas de connaître l'emplacement des failles et l'histoire des séismes de la région: il faut aussi savoir quelle va être l'influence du sous-sol sur les ondes sismiques et comment l'occupation humaine a évolué depuis les derniers séismes destructeurs dans une région.



Liquéfaction du sol lors du séisme de Niigata au Japon en 1967

Certains sols de plaine gorgés d'eau peuvent se comporter quasiment comme un liquide pendant le séisme : on parle de « liquéfaction » du sol. Les habitations ou les ouvrages mal conçus et installés sur ces sols peuvent donc être déséquilibrés et se disloquer. Doc site Replik.



Carte de la sismicité en France métropolitaine au XXe siècle.

Quels sont les enjeux d'une prévision du risque sismique ?

Pour réellement prévenir les risques, il faut tenir compte de l'ensemble des habitants, de leurs habitations et de leurs biens. Il est également nécessaire de tenir compte des activités humaines qui doivent continuer. Enfin, le patrimoine (naturel ou artistique) pouvant être endommagé ou détruit lors d'un séisme doit être répertorié.

À partir de ces données, les experts établissent une carte des enjeux, qui détermine par exemple les points sensibles comme les écoles. En comparant cette carte avec celle des risques sismiques, on connait la vulnérabilité de chaque zone vis-à-vis des séismes. Par exemple, dans un désert, l'aléa sismique peut-être fort (séismes fréquents), mais s'il n'y a ni pétrole ni habitation, les enjeux sont faibles, et la vulnérabilité vis-à-vis du risque sismique sera donc faible. À l'inverse, pour un aléa sismique modéré (peu de séismes) dans une zone très peuplée où les habitations sont précaires, le risque sismique sera fort, car les enjeux humains (risques de morts ou de blessure, de destruction des maisons, des routes et des ponts...) sont importants.

Les recherches actuelles sur la prévision des séismes

Pour éviter les morts et les catastrophes liées aux séismes les plus puissants, différentes techniques ont été utilisées pour prévoir les séismes. Malheureusement, si elles ont pu obtenir quelques succès, aucune n'est encore actuellement suffisamment fiable. Citons:

- Des techniques basées sur la façon dont un courant électrique circule dans le sol. Cette circulation est modifiée avant un séisme, mais il a été impossible pour le moment de prévoir un séisme avec ces techniques encore à l'étude.
- Les systèmes d'**alerte imminente** qui utilisent un réseau de sismographes, dans une région à risque, détectent les premières ondes sismiques, peu destructrices, et préviennent donc de l'arrivée imminente des secousses les plus fortes. Plus on s'éloigne de l'épicentre, plus le délai augmente. Des systèmes de ce genre ont été installés au Japon après le séisme de Kobe en 1995, et à Mexico. Un autre est à l'étude en Californie. Ils donnent l'alerte quelques dizaines de secondes avant les secousses les plus fortes. Même si ce délai est très court, il permet de stopper les ascenseurs, les métros et les trains, de stopper les usines, de se mettre à l'abri dans les écoles... Ainsi, le 9 octobre 1995, une alerte a été donnée a Mexico 50 s avant l'arrivée de la secousse, ce qui a permis de stopper le métro et de protéger les élèves des écoles.
- L'utilisation de satellites qui détectent des modifications dans l'atmosphère terrestre qui se produisent, pour des raisons inconnues encore, quelques jours avant les séismes majeurs. Le satellite français Demeter, entre 2004 et 2010, a étudié ces modifications qui restent encore très mal comprises et donc ne peuvent être utilisées pour prédire les séismes, mais donnent l'espoir q'une prévision possible dans le futur avec quelques jours d'avance.

Pour le moment, la protection contre les séismes la plus efficace consiste à éduquer les populations et à adapter les constructions.





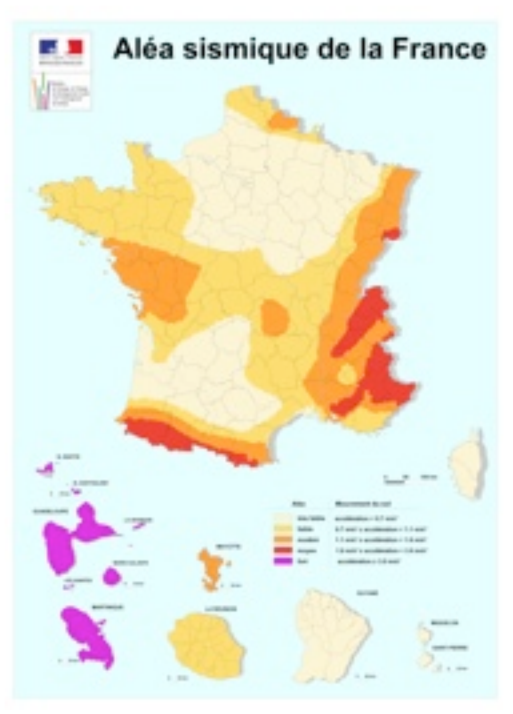
La tour Taipei 101, de 509 m de haut, construite à Taiwan, est située dans une zone où les séismes sont fréquents. Elle utilise de nombreuses techniques parasismiques, comme par exemple une sphère stabilisatrice de 660 tonnes suspendue au 92ème étage, et qui contrebalance les vibrations causées par les séismes ou les typhons. La tour a déjà résisté à un séisme survenu pendant sa construction, en 2002.

Photo GREG/Wikimedia, schéma d'après Someformofhuman/ Wikimedia.

À RETENIR: L'aléa sismique est défini comme la probabilité pour une région de subir une secousse sismique d'une intensité donnée. Pour définir le risque sismique, on doit tenir compte des caractéristiques géologiques de l'emplacement où sont construites les constructions humaines ainsi que de la résistance de ces constructions.

Aller plus loin
Découvrez de l'intérieur de l'obélisque de Washington les secousses et dégâts associés à un séisme sur la côte est des USA.

UN HABITAT QUI DOIT RÉSISTER AUX TREMBLEMENTS DE TERRE



La sismicité en France est relativement modérée, même si elle peut être plus importante dans les DOM-TOM. La carte ci-contre (provenant du Plan Séisme de novembre 2005), a été établie à partir de plus de 7500 enregistrements de séismes.

Cette carte décrit cinq zones, pour lesquelles les contraintes en termes de construction doivent être adaptées :

– zone 0 : sismicité négligeable, mais non nulle; pas de prescription parasismique particulière ;

– zone Ia : sismicité très faible, aucune secousse d'intensité supérieure à VIII n'a été observée historiquement, les déformations tectoniques récentes sont de faible ampleur ;

– zone Ib : sismicité faible, la période de retour d'une secousse d'une intensité VIII est supérieure à 250 ans et/ou bien la période de retour d'un séisme d'intensité VII dépasse 75 ans ;

– zone II : sismicité moyenne, soit une secousse supérieure à VIII a été observée historiquement, soit les périodes de retour d'une secousse d'intensité supérieure ou égale à VIII et d'une secousse d'intensité supérieure ou égale à VII sont respectivement inférieures à 250 ans et 75 ans ;

– zone III : sismicité forte, Guadeloupe et Martinique.

En métropole, trente-sept départements sont classés, en tout ou partie, en zones Ia, Ib ou II. Huit d'entre eux sont concernés dans leur intégralité: Alpes-de-Haute-Provence, Alpes-Maritimes, Pyrénées-Orientales, Haut-Rhin, Savoie, Haute-Savoie, Vaucluse et Territoire de Belfort.

Depuis le 1er août 1993, des règles strictes sont applicables, et concernent aussi les maisons individuelles depuis le 1er août 1994: la forme des bâtiments doit être aussi simple, symétrique et aussi régulière que possible pour éviter les contraintes dues à la torsion; les bâtiments de forme complexe étant séparés en plusieurs éléments par des joints parasismiques (plus de 4 cm) évitant des collisions entre éléments voisins.

Le bâtiment ne doit pas pouvoir vibrer comme le sol, donc on construira une structure souple sur un sol dur et une structure rigide sur un sol mou. Le système porteur du bâtiment peut être une structure métallique, une ossature en bois ou en béton armé. Les bâtiments détruits qui ont fait le plus de victimes possédaient une ossature de poteaux et de poutres en béton armé avec un remplissage en maçonnerie de briques ou de parpaings.



Ce temple de Petra (Jordanie), le Qasr el-Bint, date de la fin du Ier siècle et a longtemps résisté, malgré sa taille imposante, aux séismes de la région. Sa construction en briques de terre incluait des lamines de bois, dont le rôle était d'absorber une partie des vibrations sismiques. Il n'a cependant pas résisté au grand séisme de l'an 363. Photo © Angus McIntyre



Le Minaret Kalian à Boukhara (Ouzbékistan) a été construit en 1127.
D'une hauteur de 47 m sur 10 m de fondations, le minaret repose sur des roseaux qui agissent comme des coussins antisismiques.
En 850 ans, il n'a eu besoin que d'infimes réparations. Gengis Khan, désirant l'utiliser comme tour de guet, donna l'ordre de l'épargner lors de la prise de la ville de Boukhara, qu'il fit entièrement raser.

Doc: avec l'aimable autorisation d'Olivier Morice.

Le marquis de Pombal et la naissance de la science sismique



Après le séisme de 1755, la ville de Lisbonne doit être reconstruite. Le roi du Portugal Joseph 1er et son premier ministre Sebastião José de Carvalho e Melo (connu plus tard sous son titre de Marquis de Pombal - portrait ci-contre) firent appel à des architectes et des ingénieurs dans le but de réhabiliter au plus vite la capitale. Moins d'une année plus tard, la ville était libérée des ruines. La reconstruction pouvait réellement débuter. Elle a permis de construire une ville nouvelle, parfaitement ordonnée : les grandes places et les avenues larges devaient caractériser la nouvelle Lisbonne. Le Marquis de Pombal dirigeait une grande partie des travaux. Les bâtiments construits sous son contrôle sont peut-être les premiers exemples de constructions antisismiques en Europe.

Pombal employa une démarche scientifique nouvelle. Il fit construire des modèles réduits des constructions (généralement en bois), puis simula des tremblements de Terre pour vérifier leur degré de résistance (l'histoire dit même qu'il fit pour cela défiler les troupes au pas cadencé pour faire vibrer le sol).

Le nouveau centre-ville de Lisbonne, connu désormais sous le nom de « centre pombalin » (Baixa Pombalina), est aujourd'hui l'une des attractions touristiques les plus prisées de la ville. Des quartiers d'autres villes portugaises furent aussi reconstruits selon les principes de Pombal, comme la Vila Real de Santo António dans l'Algarve.



La cage de Pombal, exemple de maquette en bois des constructions antisismiques testées puis utilisées par Pombal et ses architectes. Photo Galinhola/Wikimedia

Le Marquis de Pombal ne se limita pas à la reconstruction de Lisbonne et de ses environs. Il envoya également un questionnaire dans toutes les paroisses du pays, portant sur le séisme et ses effets. Voici quelques-unes des questions auxquelles les prêtres portugais durent répondre :

- *Combien de temps a duré le tremblement de terre ?*
- *Combien de répliques ont été ressenties ?*
- *Quel type de dommage a été causé ?*
- *Les animaux ont-ils eu un comportement étrange ?*
- *Qu'est-il arrivé aux puits et aux points d'eau ?*

Ce questionnaire et l'étude des réponses collectées marquent le début de la sismologie moderne. Pombal a ainsi été un véritable artisan de l'avancée d'une science en plein siècle des Lumières.

Pendant le cours... Questions d'élève:

Si un tremblement de terre vient d'avoir lieu quelque part, on peut aller y habiter, car on serait à l'abri des séismes ?
Les séismes ne sont pas des phénomènes isolés. D'une part, des répliques (secousses secondaires) sont très fréquentes après un premier séisme, et d'autre part, des tremblements espacés de plusieurs années ou dizaines d'années se produisent souvent dans les mêmes régions. C'est l'oubli des séismes anciens qui a conduit les hommes à parfois négliger le risque et à subir les *colères de la Terre*.

Peut-on voir arriver un tremblement de terre ?
Les ondes sismiques voyagent à plusieurs centaines de km/h. Pour un observateur en haute altitude, il serait théoriquement possible de voir la progression des ondes qui détruisent la surface. Mais au sol, rien, sauf un système d'alerte, ne permet de savoir qu'un tremblement de terre arrive. Toutefois, de nombreux témoignages ont montré que certains animaux peuvent avoir un comportement très particulier avant la survenue d'un tremblement de terre.



Construction d'une maison homologuée en bambou (ossature et murs) à la Martinique. Cette maison est conçue pour résister à la fois aux cyclones et aux séismes. *Photo Laurent Gilet/Bambou habitat/Wikipedia.*

Peut-on se protéger des éruptions volcaniques ?

Le volcanisme est un risque majeur contre lequel l'homme ne peut, pour le moment, se protéger que de manière passive. On ne peut empêcher une éruption d'avoir lieu, mais on peut tenter de la prévenir et prendre des dispositions pour minimiser ses conséquences sur le plan humain.

Les moyens de protéger les constructions sont limités, et concernent surtout les éruptions effusives. Les efforts portent donc principalement sur les moyens de prévision des éruptions et les différentes façons de prévenir les dégâts possibles.

Prévention et prévision du risque volcanique: deux axes d'approche complémentaires.

La prévision nécessite l'étude et la surveillance du volcan; la prévention nécessite la formation des populations (qui commence par leur information) et des services de secours.

Surveiller un volcan

En étudiant les éruptions précédentes, on tente de prévoir les futures éruptions. On peut donc dire qu'en volcanologie, le passé est la clé du futur, même si le futur ne ressemble quasiment jamais au passé. Au travers de ces études, on cherche à déterminer le type d'éruption prévisible ainsi que la cartographie des zones atteintes. À partir de ces bases, on dessine des cartes des zones menacées, et on peut étudier l'évacuation de la population existante et interdire les constructions nouvelles.

Il faut donc surveiller l'activité actuelle d'un volcan. Sans une surveillance permanente, impossible de prévoir l'arrivée d'une éruption. Comment fait-on ?

Des observatoires, parfois même directement situés sur le volcan, vont enregistrer l'activité (micro) sismique, les déformations du volcan, la composition des gaz émis... Ces observatoires cherchent à détecter la montée de magma qui précède une éruption. Pour cela, ils mettent en place un réseau de sismographes. En effet, lorsqu'un magma arrive sous un volcan, il doit trouver sa place et provoque des cassures dans la roche, produisant ainsi des ondes sismiques détectables. De plus, la présence de magma provoque une déformation de l'édifice volcanique, un gonflement le plus souvent, de l'ordre du centimètre (voir l'exemple du Mont St Helens). Cette déformation peut être mesurée par des appareils installés sur place, mais également à partir de photographies prises par les satellites d'observation de la Terre.

L'ascension du magma vers la surface peut aussi être détectée par des changements dans la température et la composition chimique des gaz libérés sur les flancs du volcan. Ce type d'observations et de mesures doit également être réalisé pendant une éruption afin d'en identifier les variations à court terme. En France, ce travail, parfois dangereux, est réalisé par les vulcanologues de l'Institut de Physique du Globe de Paris, qui surveille les trois volcans actifs de notre pays : montagne Pelée de Martinique (surveillé dès 1903), Soufrière de Guadeloupe (dès 1950) et Piton de la Fournaise à la Réunion (à partir de 1979).



Le volcan Mayon est le volcan le plus actif des Philippines. La ville la plus proche (moins de 10 km) est Legaspi, qui compte environ 100.000 habitants. À chaque éruption, les nuées ardentes menacent les populations environnantes, en dévalant les pentes du volcan à près de 500 km/h. La seule défense est l'évacuation *a priori*, sans attendre le paroxysme de l'éruption. Photo USGS



La ville d'Armero (Colombie) était construite dans une vallée, à près de 60 kilomètres d'un volcan qui entra en éruption en novembre 1985. Elle ne fut pas directement atteinte par les produits de l'éruption, mais noyée par de gigantesques coulées de boue créées par la fonte des glaciers recouvrant le volcan. La population se pensait à l'abri, mais les deux tiers de la population de la ville furent engloutis par les coulées de boue. Photo Wikimedia

Former et informer la population

En France, le plan de prévention des risques (PPR) est un document qui règlemente l'utilisation des terrains: ceux qui sont situés dans les zones les plus dangereuses ne sont pas constructibles. C'est une façon simple et efficace de protéger les populations, mais elle ne concerne pas les constructions déjà existantes.

Dans les régions voisines d'un volcan actif, des exercices sont réalisés régulièrement à la fois pour les services de secours et pour la population. Il peut s'agir d'exercices d'évacuation ou de test de comportement des services de secours dans une situation inhabituelle.

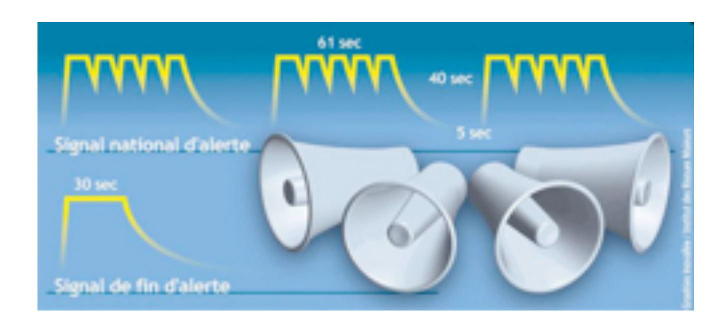
Un exemple réel de gestion des risques pour une éruption volcanique prévisible

La Guadeloupe, tout comme la Martinique, fait partie des Petites Antilles**.** Comme beaucoup de volcans dans cette région du monde, celui de la Guadeloupe porte le nom de Soufrière et ses éruptions sont de type explosif. En mars 1976, des séismes sont fortement ressentis dans la nuit. La presse locale précise qu'il s'agit «d'une activité à faible profondeur, susceptible de provoquer certaines manifestations de surface telles que fractures du sol, émission de cendres et de vapeurs» (*France-Antilles, 26/03/1976*). Dès le 29 mars, le plan ORSEC (Organisation des Secours) est déclaré. H. Tazief, vulcanologue réputé, se veut rassurant à son arrivée sur l'île: «*on ne doit pas s'alarmer [...] vous verrez peut-être des choses aussi effrayantes [...], peut-être pire [...] ne vous affolez pas*». Le vulcanologue écrira au préfet «*en cas d'aggravation du phénomène, le délai minimum (...) entre les premiers phénomènes indubitablement magmatiques et une issue qui peut être cataclysmale est de 24 heures à quelques jours*».

Le volcan ne se calmant pas, le Préfet suit l'avis de deux autres géologues, les Pr. Brousse et C. Allègre: 72 000 habitants d'une zone considérée dangereuse sont évacués le 15 août 1976, vidant ainsi la région et la privant de toute activité. Fin août 1976, les spécialistes, divisés, se disputent ouvertement: Tazieff, scientifique de terrain rassurant, s'oppose à C. Allègre, scientifique de laboratoire, qui lui oppose des mesures et analyses effectuées depuis le début de la crise volcanique. Leur querelle, qui ira jusqu'à un débat télévisé, porte en fait sur la nécessité de l'évacuation des habitants.

De juillet 1976 à mars 1977, le volcan se calme, mais son activité constante, avec nuées de poussière grise, colonnes de vapeur, séismes et grondements terrorise la population. Les spécialistes s'affrontent encore alors que le Préfet autorise, fin octobre, le retour des habitants. H. Tazieff est renvoyé, alors qu'il avait correctement prévu ce qui allait arriver. Malgré deux explosions violentes en janvier et mars 1977, l'éruption se termine sans incident.

Finalement, l'éruption redoutée, l'explosion complète et dévastatrice du volcan, n'a pas eu lieu. On laissera le dernier mot à Haroun Tazieff : «*la volcanologie est une science comme la médecine : il faut du doigté, du sang froid, de l'énergie, de l'habitude et l'expérience du terrain. Les études de laboratoire ne suffisent pas. [...] Le phénomène est complexe, à travers de nombreux paramètres on se fait une idée, mais on se trompe très souvent.* »



Le **signal national d'alerte (SNA)** consiste en une variation du son d'une sirène sur trois cycles successifs d'une durée de 1 min 41 s. Ce signal sera diffusé et relayé par tous les systèmes disponibles, notamment dans les établissements scolaires. La fin du SNA est indiquée par un signal unique de 30 s. Dès que l'on entend ce signal, il faut rentrer chez soi et écouter la radio, car les informations précises sur les conduites à tenir seront relayées par les médias nationaux et locaux. En aucun cas il ne faut fuir avant d'avoir été informé sur le danger couru. Doc. Ministère de l'Intérieur



Cette **vue aérienne du volcan la Soufrière**, prise en août 1976, montre un panache de vapeurs et de cendres qui émane du sommet.
Les villes de Basse-Terre et Saint-Claude, que l'on aperçoit à l'arrière-plan, avaient été entièrement évacuées pendant 2 mois, durée de la crise éruptive.
Photo USGS

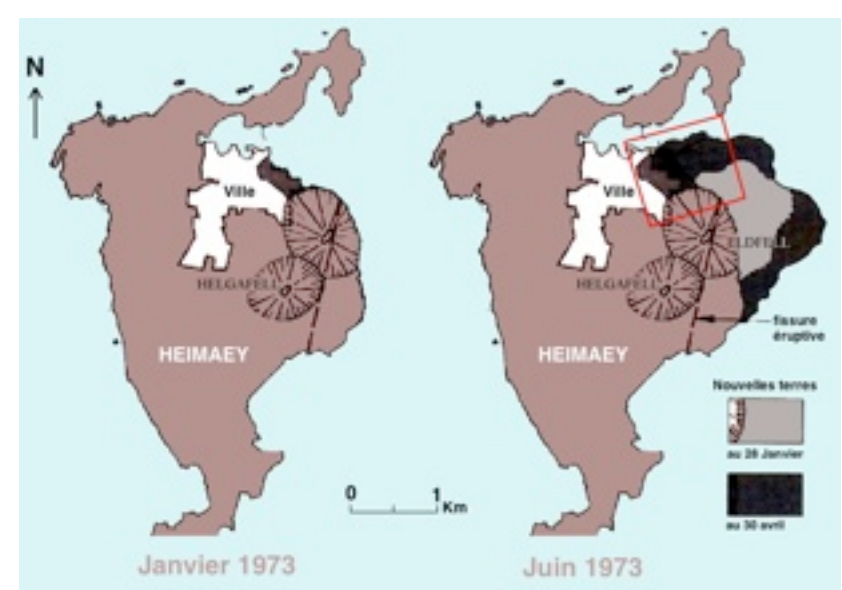
Aller plus loin
Découvrez le film/documentaire "LA SOUFRIERE" de Werner Herzog, réalisé fin août 1976.

Lutter contre une éruption

Une fois qu'une éruption est déclenchée, les moyens d'intervention humains sont très limités. Les seuls cas de lutte réussis contre une éruption de type effusif sont liés aux coulées de lave qui ont pu être détournées ou contenues.

Il est en effet possible de détourner une coulée de lave, car celle-ci suit la pente du terrain. Ainsi, en juillet 2001, l'armée italienne a creusé des tranchées qui ont détourné une coulée de lave de l'Etna, qui menaçait la petite ville de Sapienza, vers une zone inhabitée. Ce genre d'intervention n'est possible que si les coulées de lave progressent lentement.

Le seul cas où des coulées on put être stoppées est lié à une éruption du volcan Edfell sur l'île de Heimaey, sur la côte sud de l'Islande, en 1973. Au cours de cette éruption, des coulées de lave menacent de fermer l'accès à la mer du port de Heimaey, ce qui risque de condamner les 5000 habitants de cette île qui vivent presque tous de la pêche. Plusieurs actions sont envisagées: la construction de digues qui dévieraient la lave n'est pas possible, car les coulées sont trop massives. Certains proposent de faire exploser une partie du cratère, afin d'ouvrir à la lave un nouveau chemin, mais il y a alors un risque de voir les coulées arriver directement sur la ville et l'anéantir. Les Islandais décident donc d'essayer de «figer» les coulées en arrosant ces dernières pour les refroidir et les solidifier: la lave solide doit former un barrage naturel contre le reste de la coulée, dont on espère qu'elle va buter dessus et prendre une autre direction.



Dans l'urgence, 47 pompes reliées par 30 km de tuyaux sont installées, chacune débitant 1 m^3 d'eau de mer glacée par seconde (de quoi remplir une piscine olympique en 40 min). Plusieurs spécialistes des volcans se moquent des efforts des Islandais, mais au bout de 3 semaines d'arrosage, la coulée est stoppée avant d'avoir pu boucher le port, ce dernier étant même mieux protégé qu'auparavant!

Carte ci-contre : L'île avant et après l'éruption. Le rectangle rouge correspond à la photo de droite. Doc RR d'après Wikimedia/Worldtraveller.

Même si les dégâts matériels ont été très importants (une construction sur trois a été détruite), l'évacuation rapide des 5000 habitants a permis d'éviter des victimes humaines (un seul habitant ayant été tué par des gaz toxiques qui ont envahi sa cave). Après l'éruption, les habitants sont revenus sur l'île , rebâtissant et utilisant la chaleur du volcan comme source d'énergie pour leur chauffage.

Question d'élève
À quelle vitesse s'écoule un fleuve de lave ?

Les volcans qui émettent une lave liquide sont appelés volcans effusifs. La lave émise, souvent au niveau du cratère principal, est très fluide et s'écoule littéralement comme un liquide. Des vitesses de plus de 80 km/h ont été enregistrées à Hawaï. Dès que la lave se refroidit, elle devient de moins en moins fluide, et à la fin sa vitesse ne sera plus que de quelques centimètres à la minute. Mais, même à cette vitesse rien, ou presque, ne peut l'arrêter. La lave est encore à plus de 800 ou 1000°C et possède une force destructrice extraordinaire.

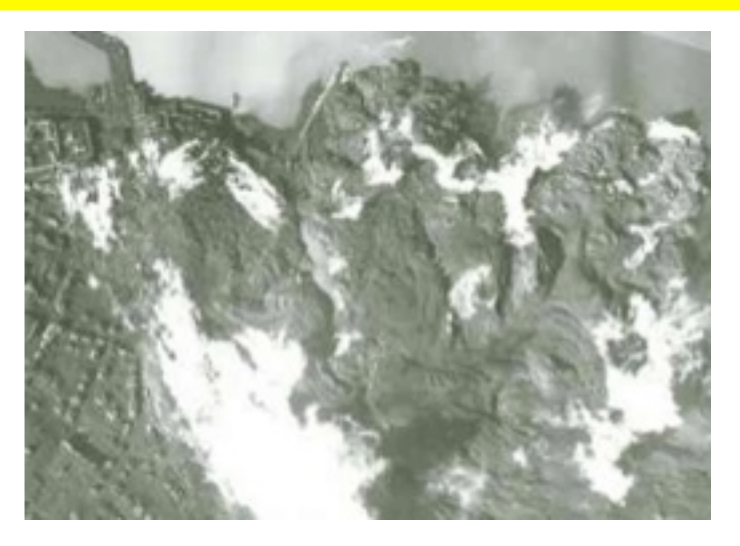


Photo prise d'un avion le 6 avril 1973, les coulées viennent du bas, le port étant à gauche (on en distingue les rues). Les nuages blancs sont formés par l'eau projetée par les pompes qui forme, au contact de la lave brulante, d'immenses nuages de vapeur. La base de chaque nuage correspond à un point d'arrosage de la coulée. Image USGS

À RETENIR

Les éruptions volcaniques ne peuvent être évitées. Aucune construction humaine ne peut y résister. Des moyens de surveillance des volcans (activité sismique, déformation, température et composition des gaz) sont mis en place pour aider à prévoir une nouvelle éruption. Trois volcans français sont concernés par ce réseau de surveillance.

En cas d'éruption, l'évacuation des populations est la mesure la plus efficace. Il est exceptionnel de pouvoir sauvegarder les constructions. En France, le Signal National d'Alerte informe la population. La conduite à tenir face au risque est adaptée par les autorités à chaque type d'éruption. Plus en amont, le plan de prévention des risques (PR) rend inconstructibles les zones dangereuses.

QUESTIONS DE COURS

1/ Qu'est-ce qu'un aléa sismique ?
2/ Comment est établie la carte des aléas sismiques en France ?
3/ Combien y a-t-il de zones dans la carte des aléas sismiques en France ?
4/ Qui est considéré comme le fondateur de la sismologie ?
5/ Quels sont les signes avant-coureurs d'une éruption volcanique ?
6/ De quelle façon surveille-t'on un volcan ?

COLLES

1/ John Milne, en 1886, a emprunté au grec ancien le mot *σεισμός*, seismos («ébranlement»). En quoi cette notion est-elle actuellement liée aux risques et dégâts subis lors d'un tremblement de terre ?
2/ Nous avons vu dans le chapitre 1 (les séismes) qu'un savant chinois avait inventé le premier appareil détectant un séisme. Pourquoi ce type d'appareil ne pouvait-il pas réellement servir à prévenir les séismes ?
3/ Établissez une comparaison des risques encourus face à une éruption explosive ou à une éruption effusive.
4/ Quels sont les principes de construction qui permettent de rendre une habitation «résistante» aux séismes ?
5/ Entre l'an 1600 et l'an 2000, seul 0,4% (soit 1300 personnes environ) des décès causés par les éruptions volcaniques ont été provoqués par des coulées de lave. Expliquez pourquoi.

EXERCICES

1 - Une succession de catastrophes

28 août 1883: «*À Anjer, 27 août, six heures du matin, la plupart des habitants étant encore au lit, une masse d'eau toute noire, énorme, arrive avec fracas, monte et inonde la ville. Puis elle se retire, entraînant dans la mer, hommes, femmes et enfants. Tout est de nouveau calme et silencieux, on ne voit plus que des débris de cadavres, de vaisseaux, de ponts et de branches. Ce n'est que le commencement. Une épaisse pluie de cendres envahit l'atmosphère. Les personnes qui sont sauvées et qui sont presque toutes blessées reprennent haleine. Une deuxième onde arrive, à son tour monte à 35 mètres de hauteur, et, en rentrant, elle entraîne tout ce qui avait survécu au premier choc. Il n'y a plus d'Anjer au monde ! Seul le soubassement du phare du quatrième point de Java reste debout. Voilà Anjer comme nous l'avons vu du pont du Loudon le 28 août.*»
(Texte rédigé par VAN SANDICK, un ingénieur des Ponts et chaussées embarqué à bord du navire *Gouverneur General Loudon* lors de l'éruption du volcan Krakatoa).

11- Les événements décrits dans ce texte étaient-ils prévisibles à l'époque ? Pourraient-ils l'être maintenant ? (2 pts)
12 - Quel phénomène a détruit la ville d'Anjer ? Quel est le seul bâtiment a avoir résisté ? (2 pts)
13 - Si les habitants avaient pu être prévenus, de quelle façon auraient-ils pu sauver leurs vies ? (2 pts)

2 - «Tout est pour le mieux...» (14 pts)

En 1759, dans son ouvrage «Candide», Voltaire se moque de ses contemporains et développe ses idées au travers des aventures de son héros, Candide, et de son «professeur» Pangloss. Les voici à Lisbonne:

«Ils [Candide et Pangloss] marchèrent vers Lisbonne; il leur restait quelque argent, avec lequel ils espéraient se sauver de la faim après avoir échappé à la tempête.
À peine ont-ils mis le pied dans la ville, en pleurant la mort de leur bienfaiteur, qu'ils sentent la terre trembler sous leurs pas, la mer s'élève en bouillonnant dans le port, et brise les vaisseaux qui sont à l'ancre. Des tourbillons de flammes et de cendres couvrent les rues et les places publiques ; les maisons s'écroulent, les toits sont renversés sur les fondements, et les fondements se dispersent ; trente mille habitants de tout âge et de tout sexe sont écrasés sous des ruines.
Le matelot disait en sifflant et en jurant : « Il y aura quelque chose à gagner ici. - Quelle peut être la raison suffisante de ce phénomène ? disait Pangloss. - Voici le dernier jour du monde ! » s'écriait Candide. Le matelot court incontinent au milieu des débris, affronte la mort pour trouver de l'argent, en trouve, s'en empare, s'enivre, et, ayant cuvé son vin, achète les faveurs de la première fille de bonne volonté qu'il rencontre sur les ruines des maisons détruites, et au milieu des mourants et des morts. Pangloss le tirait cependant par la manche : «Mon ami, lui disait-il, cela n'est pas bien, vous manquez à la raison universelle, vous prenez mal votre temps. - Tête et sang, répondit l'autre, je suis matelot et né à Batavia ; j'ai marché quatre fois sur le crucifix dans quatre voyages au Japon ; tu as bien trouvé ton homme avec ta raison universelle ! »
Quelques éclats de pierre avaient blessé Candide ; il était étendu dans la rue et couvert de débris. Il disait à Pangloss : « Hélas ! procure-moi un peu de vin et d'huile ; je me meurs. - Ce tremblement de terre n'est pas une chose nouvelle, répondit Pangloss ; la ville de Lima éprouva les mêmes secousses en Amérique l'année passée ; mêmes causes, mêmes effets : il y a certainement une traînée de soufre sous terre depuis Lima jusqu'à Lisbonne. - Rien n'est plus probable, dit Candide ; mais, pour Dieu, un peu d'huile et de vin. - Comment, probable ? Répliqua le philosophe, je soutiens que la chose est démontrée.» Candide perdit connaissance, et Pangloss lui apporta un peu d'eau d'une fontaine voisine.

21 - Relever dans le texte de Voltaire les éléments descriptifs du déroulement du tremblement de terre. Ont-ils été aussi simultanés que l'écrivain le laisse entendre ? (4 pts)
22 - Quelle comparaison Candide fait-il pour décrire cet événement ? (1 pt)
23 - Comment Pangloss explique-t'il l'origine du séisme ? (1 pt)

Pour la suite de l'exercice, vous devrez relire la p. 3 consacrée au séisme qui inspira Voltaire.

24 - Quels ont été les premiers effets ressentis du séisme ? Quelles furent leurs conséquences ? (2 pts)
25 - Comment peut-on expliquer la survenue d'un tsunami après le tremblement de terre ? (2 pts)
26 - Quel peut être l'intérêt de reconstruire la ville de Lisbonne avec des rues très larges ? (2 pts)
27 - Comment les troupes royales ont-elles été utilisées par Pombal pour tester les nouvelles constructions ? (2 pts)

3 - Should I stay or should I go ? (9 pts)
Voici quelques «unes» (titres de première page) du journal «FRANCE-ANTILLES» concernant l'éruption du volcan la Soufrière sur l'île de Guadeloupe, en 1976:

Date	«Une»
9/07/1976	**LA SOUFRIÈRE S'EST OUVERTE HIER MATIN** Pluie de cendres sur St Claude-Matouba, 70 % de la population a déjà quitté les lieux. Toutefois l'alerte N°1 n'était pas encore déclenchée.
15/07/1976	**SOUFRIERE** **Les secousses telluriques et les émanations de gaz deviennent préoccupantes.** On attend avec impatience le diagnostic des équipes Tazieff-Brousse qui sont maintenant sur place.
16/08/1976	«**Le processus est irréversible, nous courrons à la catastrophe**» déclare le professeur Brousse
24/08/1976	**LA SOUFRIÈRE S'EST APAISÉE… PROVISOIREMENT** Les conséquences économiques, sociales, humaines du gigantesque exode sont encore incalculables.

31 - Pourquoi ce journal a-t-il toujours placé l'éruption «prévue» au premier plan des actualités ? (2 pts)
32 - Construisez un tableau mettant en évidence les phénomènes éruptifs et les mesures de sécurité associées. (4 pts)
33 - La prévision des éruptions volcaniques est-elle d'une grande exactitude? (1 pt)
34 - Que signifie le titre de l'exercice ? Pourquoi l'avoir choisi ? (2 pts)

4 - Architecture



À San Francisco, l'immeuble Transamerica pyramid, construit en 1972 et célèbre par sa forme, possède des fondations et une construction particulières: il est ancré à 15 m dans le sol, avec une structure capable de bouger. La base de l'immeuble est constituée d'un ensemble de poutres de béton en forme de pyramide soutenant l'ensemble (voir photos).

41 - Pourquoi cet immeuble a t'il été construit de cette façon à San Francisco ? (2 pts)

42 - Quel est l'intérêt d'avoir des fondations aussi profondes et aussi massives, et un mode de soutien de l'immeuble aussi particulier ? (2 pts)

Photos Wikimedia/Daniel Schwen.



5 - Détournements (15 pts)

En 1669, une coulée de lave provenant du volcan Etna atteignit les remparts de la ville de Catane, menaçant de renverser les murs et d'envahir la ville. un dénommé Diego Pappalardo réussit à entrainer quelques courageux volontaires qui, protégés par des peaux mouillées, essayèrent de pratiquer une ouverture sur le bord de la coulée, bien avant Catane, pour détourner la lave vers les champs et le village de Patermo. Les habitants de ce village, appréciant moyennement cette initiative, vinrent armés à la rencontre de l'équipe de Pappalardo, et la mirent en fuite. Le centre de Catane fut recouvert par la coulée.

51 - Pourquoi les compagnons de Pappalardo devaient-ils se protéger avec des peaux mouillées ? (1 pt)
52 - Cette première tentative historique fait apparaître une des principales difficultés du détournement des coulées, qui explique d'ailleurs pourquoi elles ne sont pratiquées que de façon exceptionnelle de nos jours. Quelle est cette difficulté ? (3 pts)

En 1983, la même technique que Pappalardo, avec 400 Kg d'explosif, a permis de détourner 20% d'une coulée de l'Etna. En même temps, l'armée construisit rapidement de grands barrages, en amoncelant des roches volcaniques, qui empêchèrent la lave d'envahir une zone habitée.

53 - Contre les effets de quel type de volcanisme a t'on ainsi pu agir ? (1 pt)
54 - Laquelle des deux techniques utilisées semble être la plus efficace (expliquer votre réponse)? (2 pts)

Le 14 décembre 1991, 30 m^3 de lave s'écoulent chaque seconde d'une fissure ouverte sur les flancs de l'Etna. La coulée se rapproche rapidement de la ville de Zafferana Etnea. En janvier, la sécurité civile construit une énorme barrière de roche volcanique qui retient la lave 4 mois. La lave circule depuis le volcan dans des «tunnels», solidifiés en surface, qui l'empêchent de refroidir. Les autorités décident alors de détourner la lave en agissant de deux façons au niveau de la fissure originelle:

- la paroi du tunnel est éventrée à la dynamite, afin de détourner la coulée.
- Le tunnel est obstrué par des blocs de béton largués par hélicoptère.

Du 27 au 29 mai, l'opération est réalisée et la coulée stoppée à 850 m de la ville.

55 - Décrivez par un schéma titré et légendé le principe de cette intervention (4 pts)
56 - Pourquoi de telles actions ne peuvent-elles pas être généralisées pour protéger les populations des éruptions volcaniques ? (4 pts)

6 - Dans un violon (3 pts)

En 1960, lors d'une éruption du volcan Kilauea, à Hawaii, le chef d'une garnison de pompier eut l'idée de faire arroser une coulée de lave menaçant une maison contenant des biens de valeur. La coulée ne fut pas stoppée, mais retardée le temps de mettre à l'abri les objets précieux.

61 - Pourquoi la coulée a t'elle été retardée par l'arrosage ? (2 pts)
62 - A quelle autre occasion cette technique de protection a t'elle été utilisée ? (1 pt)

7 - Vedi Napoli e poi muori !

l'Italie est le pays d'Europe le plus exposé aux risques volcaniques. La ville et la région de Naples concentrent tous les dangers: 600 000 personnes devraient être évacuées si le Vésuve entrait en éruption. À quelques km à l'ouest de la ville, la zone volcanique des champs phlégréens est habitée par un demi-million de personnes directement menacées en cas d'activité éruptive. La photo ci-dessous a été prise depuis l'intérieur du cratère du volcan actif la Solfatare (sa dernière éruption date de 1198).



71 - Que penser des constructions présentes sur le bord du cratère ? (2 pts)
72 - Ce type de construction serait-il possible en France (argumenter votre réponse) ? (2 pts)

8 - L’entrée des enfers (13 pts)

Les Champs Phlégréens sont une région d’Italie à l’activité volcanique permanente. Le 29 septembre 1538, une éruption y construisit en une semaine le cône du monte Nuovo («montagne nouvelle»), haut de 123 m. Cette éruption a été précédée d’une longue période d’augmentation de l’altitude de la région: en 1502, les habitants notèrent que des régions occupées auparavant par la mer se retrouvaient «à sec». Un nombre anormal de séismes a aussi été signalé, avec un maximum au printemps 1534. Les 4 années suivantes, non seulement les séismes furent encore plus nombreux, mais aussi plus violents. Le maximum fut atteint le 28 septembre: une vingtaine de séismes se produisirent en 10 heures. Ce même jour, la région du futur volcan se souleva de près de 7 m, ce qui fit reculer la mer de plusieurs centaines de m, modifiant l’emplacement de la côte.

Le 29 septembre, une fissure s’ouvrit dans le sol, projetant des ponces, des gaz, des cendres. En un jour, l’essentiel du cône volcanique se forma, l’activité diminuant les deux jours suivants. Les cendres retombèrent sur une vaste surface, des fragments étant même propulsés jusqu’au Vésuve, distant de 20 Km. L’activité diminua ensuite, jusqu’à une explosion le 6 octobre, qui tua 24 personnes. Après ce sursaut, le volcan se limita a émettre quelques gaz. La photographie suivante (*image google Earth*) vous montre l’emplacement actuel de ce volcan.



Cette région est toujours extrêmement active: le volcan de la Solfatare, dont le cratère se visite, émet des fumerolles. La région du monte Nuovo «bouge» toujours: entre 1969 et 1974, de nombreux séismes s’y sont produits. Le sol de la région s’est élevé de 1,70 mètre entre 1969 et 1972, puis abaissé de 30 cm en 1974. Fin 1980, après un séisme de magnitude 6,9, le sol se remet à s’élever: entre 1982 et 1984, le port de Pouzzole se soulève de 1,4 m (toute une zone à peu près circulaire de 14 km de diamètre se soulève de 1,8 m!). On redoute alors une éruption, d’autant que la température des gaz de la solfatare augmente et qu’une nouvelle sortie de gaz apparait en novembre 1984. Par la suite, le sol s’est lentement affaissé, mais depuis janvier 1989 une nouvelle phase de gonflement a commencé. Les Champs Phlégréens sont toujours actuellement extrêmement surveillés et constituent une menace.

81 - Représenter sur une frise chronologique l’histoire géologique de cette région depuis l’an 1500. (4 pts)
82 - Quels sont les signes qui ont précédé l’éruption volcanique ? Peut-on les utiliser pour prévoir les éruptions ? (4 pts)
83 - Décrivez l’origine des différents phénomènes constatés (3 pts)
84 - Que penser de la présence humaine et des constructions visibles dans cette région ? (2 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ Un aléa sismique est un risque de séisme dans une région donnée. Cet aléa est lié à la fréquence des séismes, qui peuvent être, par exemple, rares ou fréquents.

2/ La carte des aléas sismique en France est établie en comparant la répartition géographique des séismes, avec leur fréquence et leur intensité; à la répartition de la population et des bâtiments les plus importants. Les régions où coïncident une forte sismicité (c'est à dire des séismes fréquents et forts) et une forte implantation humaine sont celles où l'aléa sismique est le plus élevé.

3/ Il y a 5 zones dans la carte des aléas sismiques en France, allant d'une sismicité négligeable à une sismicité forte.

4/ Le fondateur de la sismologie est le marquis de Pombal

5/ Les signes avant-coureurs d'une éruption volcanique sont des séismes plus nombreux, un changement de composition et de température des gaz produits par le volcan et un gonflement du sol provoquant une augmentation de l'altitude du volcan, d'une partie de celui-ci ou de la région volcanique dans son ensemble.

6/ On surveille un volcan en détectant et en analysant les séismes qui s'y produisent, en surveillant les variations de l'altitude des différents terrains et en analysant les gaz produits par le volcan.

COLLES

1/ Si vous avez regardé la définition d'«ébranlement», vous avez dû trouver quelque chose comme «*mouvement, vibration causée par un choc ou une secousse*». Cette notion est bien liée aux risques et dégâts subis lors d'un tremblement de terre car ces destructions sont bien causées par les mouvements du sol, mouvements qui sont bien liés à des «vibrations» (les ondes sismiques). Ce sont ces vibrations qui secouent les constructions, risquant de déclencher leur effondrement.

2/ Ce type d'appareil ne pouvait pas réellement servir à prévenir les séismes, car lorsqu'il donnait un signal (dans ce cas, voir chapitre 1, la chute d'une boule de métal), c'était soit que les ondes sismiques étaient déjà là (et donc il était trop tard pour se protéger), soit que ces ondes étaient de très faible intensité, signe d'un séisme lointain, et ,e présentaient donc pas de danger.

3/ La forme la plus pratique, pour établir une comparaison, est le tableau.

Éruption	explosive	effusive
Risques	La nuée ardente est le phénomène le plus destructeur. Destruction très rapide des personnes et des biens, possible à grande distance de l'éruption, aucun moyen de protection sauf la fuite. L'accumulation de cendres peut déclencher l'effondrement des bâtiments sous leur poids et empêcher l'agriculture sur de vastes surfaces. Les matériaux déposés par la nuée ardente, en cas de pluie, peuvent se solidifier, stérilisant temporairement de vastes surfaces.	Les coulées de lave détruisent les biens, mais progressent assez lentement pour que les personnes puissent se mettre à l'abri. Elles peuvent provoquer des incendies. L'accumulation de cendres peut déclencher l'effondrement des bâtiments sous leur poids et empêcher l'agriculture sur de vastes surfaces.

4/ Les principes de construction qui permettent de rendre une habitation «résistante» aux séismes sont de la rendre la plus rigide possible, pour éviter son effondrement, et de l'isoler le plus possible des mouvements du sol. Lorsqu'il s'agit d'immeubles de grande hauteur, il s'agit surtout, par des techniques variées, d'empêcher l'effondrement en réduisant les secousses et en minimisant leurs effets (par des systèmes de contrepoids, des fondations sur amortisseur...)

5/ 0,4% seulement des décès causés par les éruptions volcaniques ont été provoqués par des coulées de lave, car ces dernièrement sont plus spectaculaires que dangereuses pour les animaux (y compris les humains). En effet, une coulée progresse le plus souvent assez lentement. De plus, elle suit les irrégularités du terrain, comme de l'eau, et on peut donc prévoir le chemin qu'elle va emprunter (on peut même essayer de la dévier, la contenir ou la stopper). Par contre, les coulées sont dévastatrices pour les constructions, qui sont brulées et englouties, ainsi que pour les végétaux.

EXERCICES

1 - Une succession de catastrophes

11- En 1883, les événements décrits dans le texte n'étaient pas prévisibles. Actuellement, ils pourraient l'être, car il existe un système de surveillance des volcans actifs permettant, dans une certaine mesure, de prévoir leurs éruptions et l'évolution de ces dernières. Toutefois, ces prévisions ne sont pas certaines, car la surveillance ne couvre pas tous les océans, par exemple.

12 - Le phénomène a détruit la ville d'Anjer est un raz de marée, encore appelé tsunami. Le seul bâtiment a avoir résisté (en partie) est le phare de la ville, dont il ne reste plus que le soubassement (c'est à dire le socle, la base sur laquelle la tour avait été construite).

13 - Si les habitants avaient pu être prévenus, La seule façon de se sauver aurait été de se mettre hors de portée de la vague en se réfugiant sur le point géographiquement le plus élevé possible: collines, montagnes, talus les plus éloignés possible de la côte.

2 - «Tout est pour le mieux...» (14 pts)

21 - Les éléments descriptifs du déroulement du tremblement de Terre sont:
- *la mer s'élève en bouillonnant dans le port, et brise les vaisseaux*
- *des tourbillons de flammes et de cendres couvrent les rues et les places publiques*
- *les maisons s'écroulent,*
- *les toits sont renversés sur les fondements, et les fondements se dispersent*

Contrairement à ce que Voltaire laisse entendre, ces événements n'ont pas été simultanés: les secousses sont arrivées en premier, suivies par le tsunami, puis par l'incendie de ce qui restait de la ville.

22 - Candide compare cet événement au «*dernier jour du monde »* à cause de la soudaineté et de l'ampleur des destructions.

23 - Pangloss explique l'origine du séisme en l'identifiant à un autre survenu à Lima, au Pérou, un an auparavant. Pangloss suppose qu'il existe «*une traînée de soufre sous terre depuis Lima jusqu'à Lisbonne» ,* poudre qui, allumée à Lima, s'est consumée lentement jusqu'à Lisbonne où elle a provoqué la destruction de la ville. Il s'agit là d'une explication fantaisiste, et Voltaire se moque d'ailleurs de la facilité et de l'assurance avec laquelle Pangloss considère que son hypothèse est démontrée ...

24 - Les premiers effets ressentis du séisme ont été les secousses qui ont affecté les constructions les plus hautes, dont le sommet s'est mis à se balancer (flèches des églises par exemple). Ces secousses ont fragilisé les bâtiments.
Ces secousses ont eu pour conséquence que les habitants ont été piégé dans les rues étroites et les édifices lorsque le second ensemble de secousses a déclenché l'effondrement des bâtiments, ce qui a augmenté le nombre des victimes.

25 - On expliquer la survenue d'un tsunami après le tremblement de Terre par la situation de son épicentre, au large. Le mouvement de la faille a déclenché le mouvement de l'océan, mais comme la vague voyage bien moins vite que les ondes sismiques, elle est arrivée sur la ville bien après ces dernières.

26 - En reconstruisant la ville de Lisbonne avec des rues très larges, Pombal permet de créer un obstacle à la propagation des futurs incendies. De plus, des rues larges permettent à la population de s'éloigner facilement des habitations susceptibles de s'écrouler en cas de nouveau séisme.

27 - Pombal a utilisé les troupes royales pour créer des vibrations du sol, en faisant défiler au pas les soldats. Ces vibrations lui ont permis de tester des maquettes des futures constructions, afin de voir comment elles résisteraient à un futur séisme éventuel.

3 - Should i stay or should i go ? (9 pts)

31 - Le journal a toujours placé l'éruption «prévue» au premier plan des actualités, car le risque était extrêmement important: une bonne partie de l'île, et des villes importantes, auraient pu être détruites. De plus, la mesure de protection principale est l'évacuation de l'île, ce qui concerne forcément tous ses habitants et est d'une grande importance.

32 - Tableau mettant en évidence les phénomènes éruptifs et les mesures de sécurité associées.

phénomènes éruptifs	Mesures de sécurité associées.
Gaz toxiques	Surveillance du volcan et analyse des gaz émis
Coulées de lave	Surveillance du volcan. Interdiction de construire dans les zones dangereuses. Évacuation des zones menacées, éventuellement tentatives de détournement ou de ralentissement de la coulée.
Nuée ardente	Interdiction de construire à proximité immédiate du volcan. Évacuation préventive de toute la population, mise en place d'un périmètre de sécurité autour du volcan ou toute présence humaine est réglementée.
séismes	Constructions parasismiques

33 - La prévision des éruptions volcaniques n'est pas (encore) d'une grande exactitude, car si on peut prévoir le déclenchement d'une éruption, il est difficile de savoir quelle sera son importance et plus encore son évolution, et donc si elle sera assez dangereuse pour justifier des mesures couteuses, comme l'évacuation de toute la population dans l'exemple cité.

34 - Le titre de l'exercice signifie «dois-je partir ou dois-je rester ?» Il a été choisi car il correspond à la question qui se pose à toute personne (ou à toute population) confrontée à un risque d'éruption volcanique.

4 - Architecture

41 - L'immeuble a été construit de façon à résister aux mouvements du sol parce que San Francisco est située en Californie, une zone de forte activité sismique, où les séismes sont fréquents et peuvent atteindre une forte intensité (l'aléa sismique est très élevé).

42 - Les fondations profondes et massives permettent à l'immeuble de suivre les mouvements du sol, ce qui minimise les risques d'effondrement. Le soutien de l'immeuble assuré par le treillis en pyramide permet de répartir le poids du bâtiment sur ses fondations même lorsque l'immeuble est agité par les secousses sismiques.

5 - Détournements (15 pts)

51 - Les compagnons de Pappalardo devaient se protéger avec des peaux mouillées, car ils devaient approcher à faible distance de la coulée pour pouvoir la dévier. Comme une coulée de lave a une température voisine de 1000 °C, ils risquaient, même à distance; d'être fortement brûlés par la chaleur dégagée.

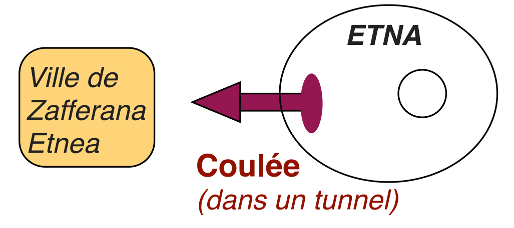
52 - La difficulté du détournement des coulées consiste à choisir l'endroit où l'on va diriger cette dernière: on ne dispose que rarement d'un terrain désert où diriger la lave, son propriétaire n'est pas forcément enchanté à l'idée de voir ses terres recouvertes d'une couche de plusieurs mètres de lave stérile, quant aux habitants des villages de la région, ce qui était difficilement possible en 1663 ne l'est plus du tout aujourd'hui: on ne peut choisir de détruire une agglomération pour en protéger une autre. C'est pour cela que le détournement d'une coulée reste exceptionnel (le cas le plus favorable étant celui où l'on peut diriger la coulée vers l'océan).

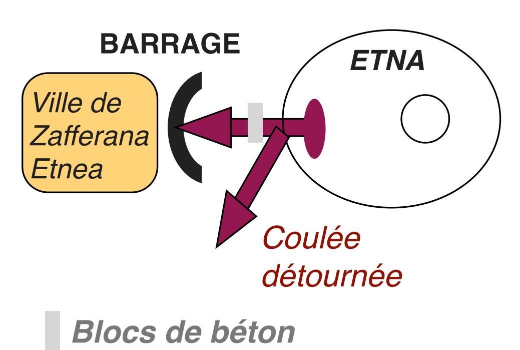
53 - On ne peut détourner des coulées de lave que lorsque le volcan en produit (évidemment!), ce qui indique que l'on ne peut lutter ainsi que contre le volcanisme effusif (et encore, à condition que les coulées ne soient pas trop importantes).

54 - Si on compare le détournement de la coulée et le barrage, on doit constater que c'est cette dernière technique qui est, et de loin, la plus efficace: malgré le détournement, 80 % de la coulée continue son chemin, alors que le barrage a été plus efficace en empêchant la lave de recouvrir une zone habitée.

55 -Votre schéma devrait ressembler à celui-ci :

Déviation d'une coulée de l'Etna





56 - De telles actions ne peuvent pas être généralisées pour protéger les populations, car il faut à la fois être en présence:

- d'une ou de plusieurs coulées qui ne soient pas ni trop rapides, ni trop imposantes par leur volume
- de moyens techniques disponibles, faciles à transporter et à acheminer sur place
- d'un accès relativement sécurisé au voisinage de la coulée
- de terrains où l'on puisse diriger la coulée sans risque d'endommager d'autres constructions ou de léser un ou plusieurs propriétaires.

Comme il est rare de disposer de tous ces éléments, le détournement des coulées reste exceptionnel.

6 - Dans un violon (3 pts)

61 - La coulée a été retardée par l'arrosage, car l'eau diminue la température de la lave, ce qui déclenche sa solidification. La coulée, dont l'avant est solidifié, ne peut donc plus progresser aussi vite, car la partie solide joue le rôle d'un barrage qui doit être surmonté par la lave qui arrive en arrière des points arrosés.

62 - Cette technique de protection par arrosage de la coulée a été utilisée pour protéger le port d' Heimaey, en Islande, en 1973.

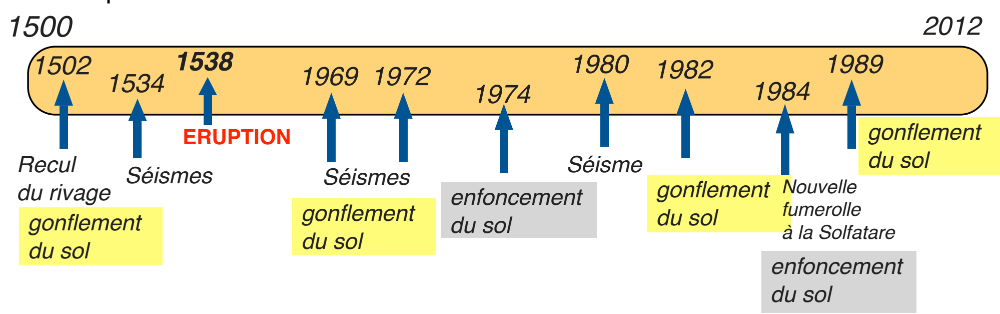
7 - Vedi Napoli e poi muori !

71 - Un examen attentif montre que les constructions présentes sur le bord du cratère sont des immeubles d'habitation. On peut penser que leurs habitants seront aux premières loges en cas de développement de l'activité volcanique. Le volcan étant entré en éruption il y a moins de 1000 ans et étant toujours actif, une éruption est probable. La situation des immeubles est donc réellement dangereuse.

72 - A priori, ce type de construction ne serait pas possible en France, car le plan d'exposition aux risques (PER) devrait amener à déclarer ces terrains inconstructibles (toutefois, si des habitations anciennes étaient déjà présentes, elles pourraient demeurer en place).

8 - L'entrée des enfers (13 pts)

81 - Frise chronologique représentant l'histoire géologique de la région du monte nuovo depuis l'an 1500.



82 - Les signes qui ont précédé l'éruption volcanique sont:
- une augmentation de l'altitude de la région
- une augmentation de la fréquence et de l'intensité des séismes

Il est possible de les utiliser pour prévoir les éruptions, mais on n'est jamais certain du déclenchement de celle-ci (comme en 1984, où finalement il n'y a pas eu d'éruption) et on ignore si elle sera importante ou non.

83 - Les différents phénomènes constatés partagent la même origine: la remontée du magma depuis la chambre magmatique vers la surface.
En effet, l'augmentation de la pression dans la chambre magmatique et surtout dans la cheminée provoque une surélévation de la région, qui est littéralement poussée vers le haut pas le magma. Par la suite, au cours de son ascension:
- le magma brise des roches, ce qui déclenche des séismes (dont le foyer se rapproche de plus en plus de la surface)
- les gaz du magma s'infiltrent jusqu'à l'extérieur, et modifient donc la température et la composition des émissions de gaz préexistantes (si elles existent)

84 - La photographie montre que toute la région est fortement urbanisée: habitations, autoroutes et routes encerclent presque complètement «l'ancien» volcan. La présence humaine est donc importante dans la région, et de nombreuses constructions sont, de plus, récentes. Il semble particulièrement imprudent de concentrer autant d'activités dans une zone volcanique active, et on doit penser que la surveillance de la région et son évacuation éventuelle ont été convenablement prévues et réalisées (l'évacuation rapide de la population serait ici facilitée, car on se trouve en bord de mer, ce qui permet d'utiliser des bateaux en cas d'urgence pour évacuer les habitants).

Glossaire

Ruines de Pompéi, détruite par une éruption du Vésuve en l'an 79. Photo RR.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Aléa: évènement imprévisible. L'aléa sismique est la probabilité que se produise un séisme d'intensité donnée pendant une durée donnée.

antisismique/ parasismique: construction (ou norme de construction) visant à rendre les bâtiments «résistants» aux séismes, ou du moins a se comporter en cas de séismes de façon à protéger la vie des habitants (ainsi, il s'agit principalement d'éviter l'effondrement, mais pas de faire en sorte que le bâtiment soit obligatoirement intact et utilisable après un séisme).

contrainte: force appliquée à un endroit donné

Coulée: avancée de lave fluide s'écoulant depuis un cratère ou une fissure du sol. Une coulée peut prendre la forme d'un «fleuve» de lave, mais sa vitesse reste généralement modérée.

DOM TOM: Département d'outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion, Mayotte) - Territoire d'outre-mer (St Barth, Wallis et Futuna, Polynésie française...). L'appellation actuelle correcte, mais encore peu utilisée, est DROM-COM (département et régions d'outre-mer, collectivités d'outre-mer).

entrailles: ce qui est à l'intérieur.

famine : situation de manque de nourriture en quantité suffisante dans une population.

flèche : sommet d'un bâtiment

liquéfaction : Changement de comportement d'un sol sous l'influence des vibrations d'un séisme, qui passe d'un comportement de solide à celui d'un liquide (les constructions s'enfoncent alors dans le sol). Attention: ce mot à une signification tout autre en physique, où il désigne un changement d'état, le passage de l'état gazeux à l'état liquide.

Métropole: Territoire de la France située sur le continent européen.

Observatoire: construction ou administration chargée de réaliser des observations et des études sur un sujet donné.

Ossature: Éléments principaux d'une construction, qui soutiennent le reste de celle-ci.

Petra: Cité antique de Jordanie, créée il y a 29 siècles, célèbre pour certains de ses bâtiments sculptés dans la roche.

Pombal: Noble Portugais faisant office de «premier ministre» à l'époque du séisme de Lisbonne, qui organisa les secours et la reconstruction de la ville.

PPR: Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles. Depuis 1995, ce plan a pour but de sécuriser les populations et les biens et de permettre un développement durable des territoires. Pour cela, il nécessite de:

- mieux connaître les phénomènes et leurs effet
- assurer si possible une surveillance des phénomènes naturels
- sensibiliser et informer les populations sur les risques les concernant et sur les moyens de s'en protéger
- prendre en compte les risques dans les décisions d'aménagement et les permis de construire
- protéger et adapter les installations actuelles et futures
- tirer les leçons des évènements naturels destructeurs lorsqu'ils se produisent

précaire : qui n'est pas destiné à durer, qui n'est pas dans un état satisfaisant ou est de mauvaise qualité.

Préfet: fonctionnaire qui représente l'état dans un département ou une région

prémunir: protéger

prévention: attitude ou ensemble de mesures à prendre pour éviter autant que possible les conséquences et les dangers d'un séisme ou d'une éruption

raz de marée: Vague géante produite par un séisme sou marin ou une éruption volcanique

répertorier: reporter sur une liste

sismicité: activité sismique d'une région (séismes qui s'y sont produits au cours d'une échelle de temps donnée)

SNA: Signal National d'Alerte. Sonnerie particulière alertant les populations d'un danger en France

Tage: Fleuve qui traverse la ville de Lisbonne

Typhons: Nom que l'on donne dans les régions N-O du Pacifique aux cyclones tropicaux, ces tempêtes constituées de nuages orageux en rotation accompagnés de vents très violents

vulcanologue: scientifique spécialiste des volcans

Autour des risques géologiques

Immeubles d'habitation sur les bords du cratère du volcan actif la Solfatare . Photo RR.

Poème

Le Philosophe Voltaire écrivit en 1756 son «Poème sur le désastre de Lisbonne» dont voici le début:

O malheureux mortels ! ô terre déplorable !
O de tous les mortels assemblage effroyable !
D'inutiles douleurs éternel entretien !
Philosophes trompés qui criez : " Tout est bien " ;
Accourez, contemplez ces ruines affreuses,
Ces débris, ces lambeaux, ces cendres malheureuses.
Ces femmes, ces enfants l'un sur l'autre entassés,
Sous ces marbres rompus ces membres dispersés :
Cent mille infortunés que la terre dévore,
Qui, sanglants, déchirés, et palpitants encore,
Enterrés sous leurs toits, terminent sans secours
Dans l'horreur des tourments leurs lamentables jours !
Aux cris demi-formés de leurs voix expirantes,
Au spectacle effrayant de leurs cendres fumantes,
Direz-vous : " C'est l'effet des éternelles lois
Qui d'un Dieu libre et bon nécessitent le choix " ?
Direz-vous, en voyant cet amas de victimes :
" Dieu s'est vengé, leur mort est le prix de leurs crimes " ?
Quel crime, quelle faute ont commis ces enfants
Sur le sein maternel écrasés et sanglants ?
Lisbonne, qui n'est plus, eut-elle plus de vices
Que Londres, que Paris, plongés dans les délices ?
Lisbonne est abîmée, et l'on danse à Paris.
Tranquilles spectateurs, intrépides esprits,
De vos frères mourants contemplant les naufrages,
Vous recherchez en paix les causes des orages :
Mais du sort ennemi quand vous sentez les coups,
Devenus plus humains, vous pleurez comme nous.
Croyez-moi, quand la terre entrouvre ses abîmes,
Ma plainte est innocente et mes cris légitimes.(...)

Idées de lecture

Les volcans et séismes à la loupe, K Rubin, Larousse, 2008
Un album graphiquement très travaillé, aux illustrations spectaculaires.

Qu'est-ce qui fait trembler la terre ? À l'origine des catastrophes sismiques, P. Bernard, ed EDP. Un petit livre qui fait le tour de la question et qui reste facile à comprendre.

Volcans du monde, séismes et tsunamis. J M. Bardintzeff, ed. Orphie, 2010

DVD documentaires

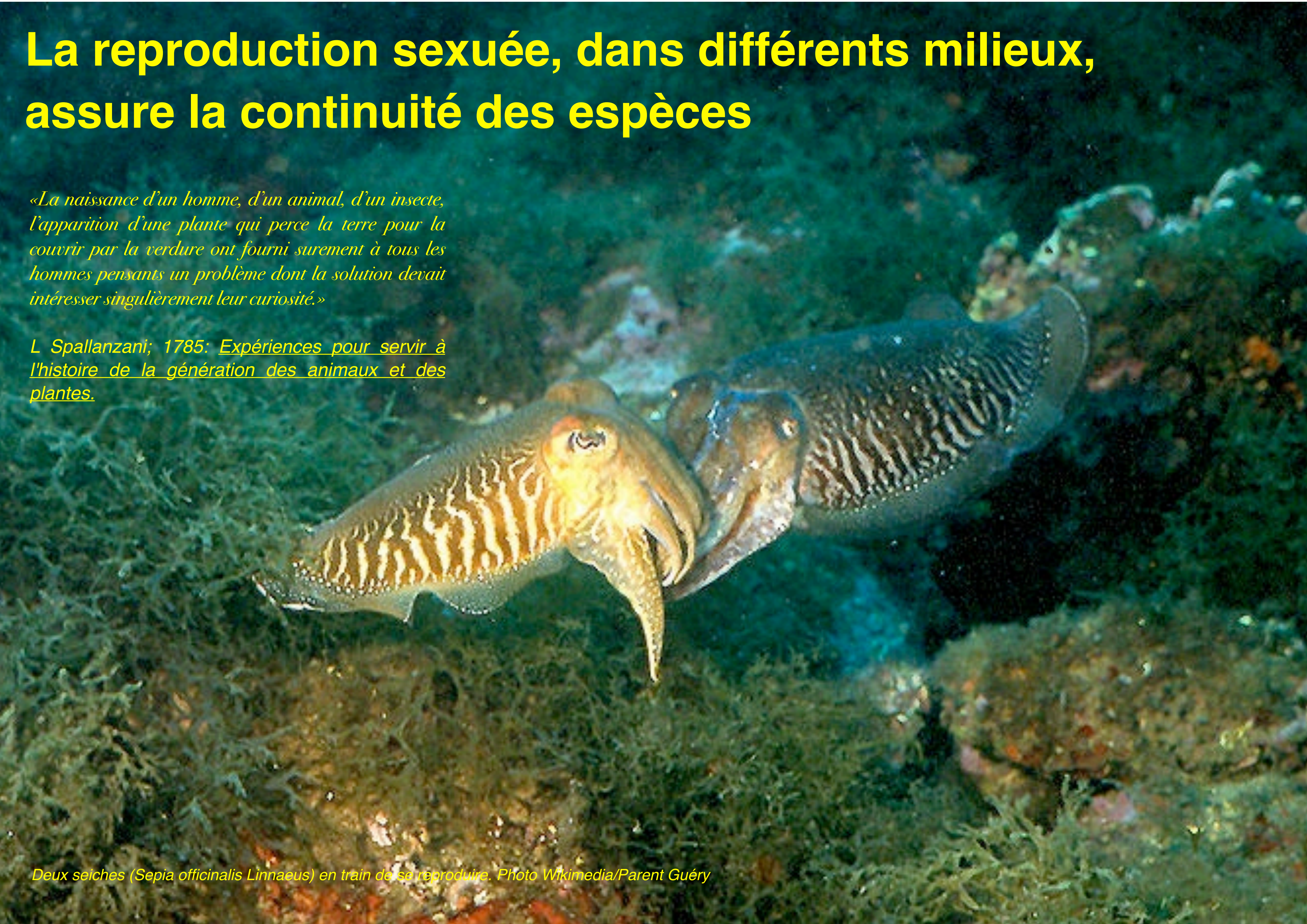
C'est pas sorcier : volcans, séismes et tout le tremblement - F. Courant, 2004

Volcans du monde - Italie : Volcans & Mythologie - A Dayan, 2011

La reproduction sexuée, dans différents milieux, assure la continuité des espèces

«La naissance d'un homme, d'un animal, d'un insecte, l'apparition d'une plante qui perce la terre pour la couvrir par la verdure ont fourni surement à tous les hommes pensants un problème dont la solution devait intéresser singulièrement leur curiosité.»

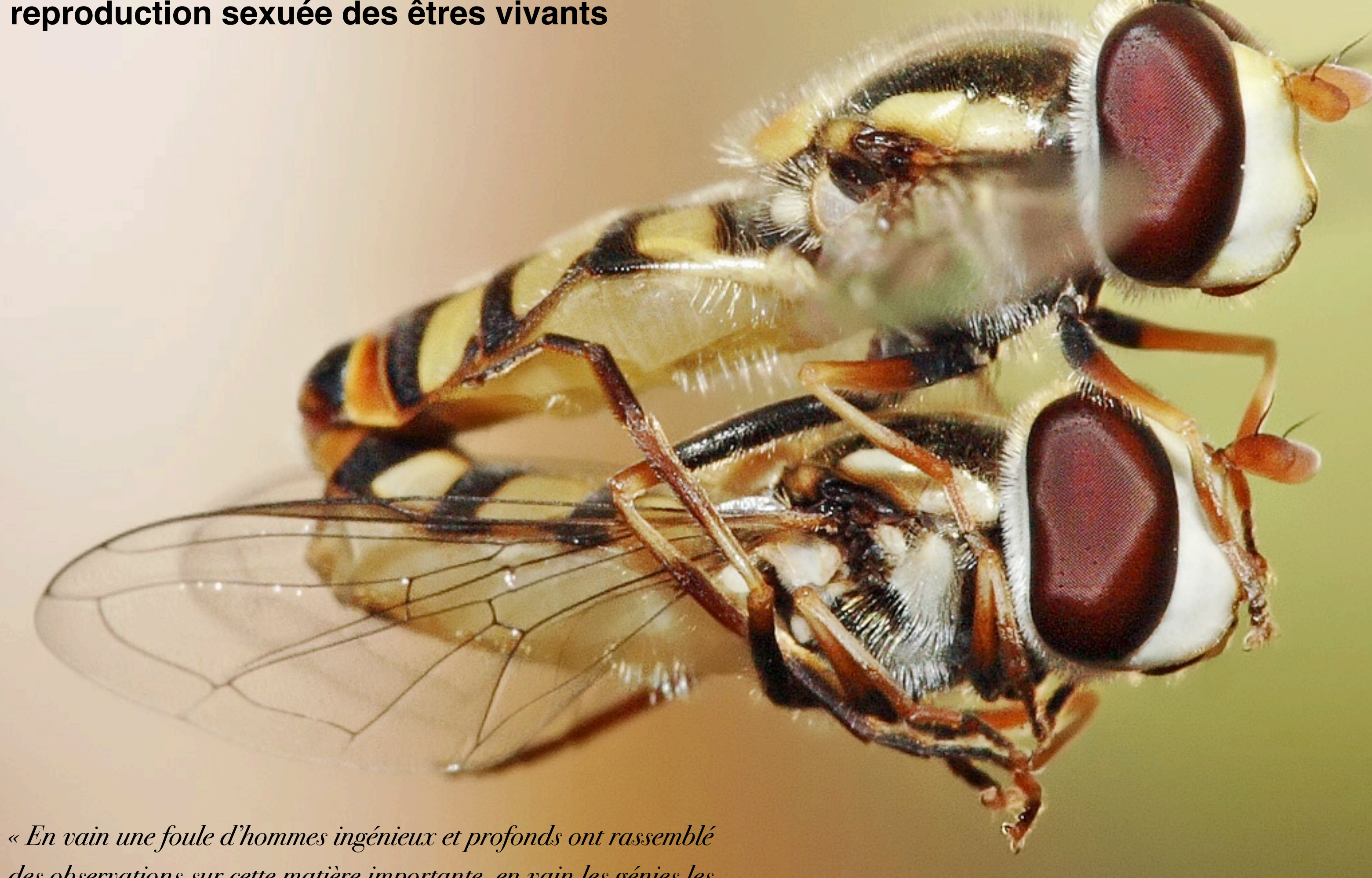
L Spallanzani; 1785: Expériences pour servir à l'histoire de la génération des animaux et des plantes.



Deux seiches (Sepia officinalis Linnaeus) en train de se reproduire. Photo Wikimedia/Parent Guéry

SOMMAIRE

La nécessité, pour obtenir de nouveaux individus, d'un mâle et d'une femelle ne s'est imposée que tardivement: les humains savaient depuis toujours comment se reproduire, et n'ignoraient pas que le mécanisme était le même pour leurs animaux domestiques, qui se répartissaient en mâles et femelles. Par contre, la situation semblait moins claire pour les petits animaux (et plus encore pour les plantes ou les champignons): on découvrait de petites souris dans un tas de vieux chiffons, des asticots semblant surgir des cadavres en décomposition, ou des insectes sortant brutalement du sol. Il était donc possible de croire que des êtres vivants étaient capables de surgir «spontanément» de la matière, ce qui fut l'opinion dominante de tous les peuples de l'Antiquité, dont les philosophes Grecs, «pères» des sciences. Le plus influent de ces deniers, Aristote, écrivit «*Les insectes, les mollusques, les poissons, et certaines plantes peuvent naître spontanément à partir de vase, de rosée ou de neige*». Il fera autorité jusqu'au 18^{éme} siècle, où de nombreuses expériences éclairciront la façon dont animaux et plantes se reproduisent, et montreront l'existence, dans le cadre de la reproduction sexuée, de deux types de cellules reproductrices dont l'union est nécessaire pour obtenir un nouvel individu. Nous allons étudier et préciser les particularités de ce type de reproduction en suivant tout d'abord les expériences d'un de ses principaux «défricheurs », le biologiste Lazzaro Spallanzani (1729-1799).



L'accouplement de *Simosyrphus grandicornis*, se produisant en vol, est ici révélé par le talent du photographe.
Photo Wikimedia/ Fir0002/Flagstaffotos sous licence GDFL.

« En vain une foule d'hommes ingénieux et profonds ont rassemblé des observations sur cette matière importante, en vain les génies les plus hardis ont analysé ce fait capital. La succession des siècles ne présente qu'une succession d'erreurs.» J Senebier, 1785, parlant de la reproduction. Préface de « Expériences pour servir à l'histoire de la génération des animaux et des plantes.» de L. Spallanzani.

6 - La reproduction sexuée

La reproduction sexuée comporte l'union de deux cellules reproductrices, les gamètes

Les premiers biologistes qui ont voulu faire des expériences, et non plus seulement des observations, sur la reproduction des animaux ont été gênés: les animaux qu'ils pouvaient utiliser facilement s'accouplent, et «tout» se passe dans la femelle: on ne peut rien voir clairement. La solution consistait à utiliser des animaux où les contributions respectives du mâle et de la femelle sont visibles: c'est le cas de la plupart des animaux aquatiques, dont les grenouilles, abondantes, peu chères, faciles à capturer et qui ont le bon gout de survivre aussi hors de l'eau, ce qui facilite et leur élevage et leur observation.



Dessin de J. Swammerdam, en 1679, décrivant la reproduction des grenouilles.

Lorsque les grenouilles s'accouplent, le mâle grimpe sur le dos de la femelle. La femelle pond alors des «oeufs» qui, dans l'eau, se développent pour donner des têtards, qui eux-mêmes deviendront des grenouilles. Cette reproduction avait été observée et décrite par Jan Swammerdam en 1679, mais peu de scientifiques l'avaient pris au sérieux. Presque 100 ans plus tard, en 1768, Lazzaro Spallanzani est le premier scientifique a avoir effectué des expériences complètes et rigoureuses sur cette reproduction, en se basant sur les conseils et les découvertes de ses collègues.

Le mâle s'agrippe sur le dos de la femelle pendant qu'elle pond. Notez la masse des oeufs sombres visibles à l'arrière de ces animaux, et notés «f» sur le dessin. La photographie ci-dessous permet de vérifier l'exactitude des observations de Swammerdam.
Photo Wikimedia/Venenifer.

Il commence par vérifier que les «oeufs» de la grenouille, prélevés dans son corps juste avant l'accouplement, ne donnent pas naissance à des têtards: ils pourrissent rapidement. Ce ne sont donc pas réellement des oeufs (qui donnent naissance à des petits) mais des **ovules**, puisque le mâle doit intervenir pour que le développement des petits soit possible. Spallanzani observe l'accouplement des grenouilles, et se demande si, comme chez les mammifères, le mâle produit du sperme. Tout d'abord, il n'en voit pas, puis force des grenouilles à s'accoupler hors de l'eau: il constate alors qu'un peu de liquide sort du mâle, au niveau d'une bosse située à l'arrière, sous le ventre, et **coule sur les «oeufs» de la grenouille** au fur et à mesure qu'ils sortent de son abdomen.



Spallanzani se rappelle alors d'une expérience menée 30 ans auparavant par deux scientifiques, Nollet et Réaumur: pour étudier l'influence du mâle dans la reproduction, ces derniers avaient «isolé» les mâles des femelles en fabriquant des caleçons en taffetas (un tissu aux mailles serrées, quasiment imperméable) avec lesquels ils avaient habillé les grenouilles mâles. Ils s'étaient rendu compte que le mâle, ainsi habillé et **isolé de la femelle**, ne parvenait plus à féconder les «oeufs»: il y avait bien accouplement, mais pas de fécondation des «oeufs». Le mâle devait donc bien produire «quelque chose» d'indispensable.



Reproduction de la grenouille dorée

Spallanzani reproduit avec soin ces expériences, les vérifie, mais surtout les prolonge en examinant les caleçons après l'accouplement: il trouve dedans quelques gouttes d'un liquide. Il va mélanger ce liquide, dilué, avec des «oeufs» provenant de l'intérieur d'une grenouille, donc non fécondés: il découvre alors que **seuls les «oeufs» mis en contact avec ce liquide donnent des têtards**. La fécondation, chez la grenouille, demande donc bien que se **rencontrent le sperme du mâle et les ovules de la femelle**.

Afin de vérifier si les mécanismes sont les mêmes chez les mammifères que chez les grenouilles, Spallanzani réalise la première «insémination artificielle»: avec une seringue, il injecte du sperme de chien dans l'utérus (organe sexuel femelle, voir plus loin) d'un Caniche femelle, et obtient, 9 semaines plus tard, trois chiots: la fécondation des mammifères est donc semblable à celle des grenouilles.

Le sperme contient, on le savait déjà à l'époque de Spallanzani sans toujours en soupçonner l'importance, **des millions de cellules mobiles, les spermatozoïdes**. Mais ces derniers sont pris pour des parasites, même par Spallanzani. Toutefois, ce dernier montre que du sperme filtré ne permet plus la fécondation des ovules, mais il ne fait pas le lien avec les spermatozoïdes (il pense qu'une substance mystérieuse est retenue par le filtre).

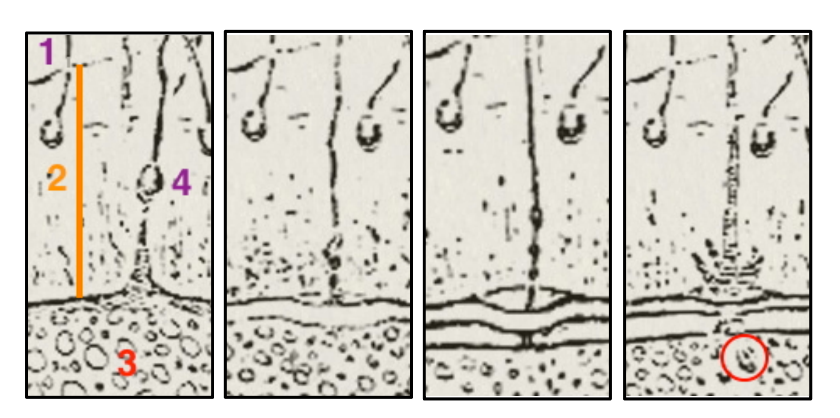
Ce n'est qu'en 1821 que le docteur Jean Louis Prévost et le chimiste Jean Baptiste Dumas (qui ont refait et complété les expériences de Spallanzani) affirment que **les spermatozoïdes sont les responsables de la fécondation des ovules.** En effet, ils ont découvert que l'on trouvait ces cellules dans les testicules de tous les animaux mâles qu'ils ont examinés, mais qu'ils étaient absents chez les individus très jeunes, ne pouvant pas encore se reproduire, ainsi que chez le mulet, un animal qui est toujours stérile. Prévost et Dumas ne sont pourtant pas écoutés par les autres scientifiques de leur époque. Ce n'est qu'en 1840 que A Von Kolliker va observer au microscope, dans les testicules, la formation des spermatozoïdes à partir d'autres cellules: **les spermatozoïdes sont des cellules reproductrices mâles**, et pas des parasites!

12 ans plus tard, en 1852, Henry Nelson observe sous son microscope la fécondation des ovules d'un vers parasite, l'ascaris. Il voit distinctement **un spermatozoïde entrer dans l'ovule et fusionner avec lui**. Au cours des années suivantes, plusieurs scientifiques disent observer la fécondation, en particulier chez des lapines, mais leurs expériences sont difficiles à reproduire. Il faut attendre 1876 pour que Oscar Hertwig découvre un animal simple à utiliser pour étudier cette fécondation: l'oursin, qui est abondant, se reproduit presque toute l'année, dont les ovules et les spermatozoïdes sont dans l'eau et dont l'ovule est transparent même à fort grossissement au microscope, ce qui permet de voir ce qui se passe dedans! Hertwig montre alors que **le noyau d'un spermatozoïde pénètre dans le cytoplasme de l'ovule, puis se mélange avec le noyau de l'ovule, ce qui donne une nouvelle cellule, la cellule oeuf,** qui commence à se diviser pour former l'embryon d'un nouvel individu. En même temps qu'Hertwig, Herman Fol réalise les mêmes expériences et découvertes.

Dès lors, il devient clair que **la fécondation n'est autre que la rencontre de deux gamètes, un ovule et un spermatozoïde, qui fusionnent pour former une seule cellule à l'origine d'un nouvel individu.**

«Ayant détaché un crapaud mâle accouplé, de la femelle, alors qu'elle étoit sur le point d'accoucher, comme je m'en aperçus par le gonflement du ventre, je la mis solitaire dans un vase plein d'eau, où quelques heures après elle commença à faire paraitre ors de son corps deux cordons visqueux (...) j'en laissai un dans le vase, et je pris l'autre pour le baigner avec la semence du mâle. Je tirai cette liqueur du mâle même que j'avais arraché à la femelle.(...) En ayant tiré la liqueur séminale, qui étoit transparente comme l'eau, que je mis dans un cristal de montre, j'en baignais le morceau du cordon avec un pinceau(...) Le sixième jour, je me flattai que mon expérience ne seroit pas inutile, plusieurs têtards(...) commençaient à s'allonger. (...) Au onzième jour, les têtards se mouvoient, au treizième, ils étaient sortis et nageoient librement dans l'eau; au contraire, les oeufs non fécondés étaient restés comme ils étaient, ils commencèrent même à se corrompre et ils se pourrirent tout à fait: j'étais donc parvenu à donner artificiellement la vie à cette espèce d'animaux, en imitant la Nature dans les moyens qu'elle emploie pour multiplier les amphibies.»

L. Spallanzani, 1785 , extrait de « Expériences pour servir à l'histoire de la génération des animaux et des plantes.»



*Une des premières **descriptions de la fécondation d'un ovule d'oursin,** par H. Fol (1876).*
Les spermatozoïdes (1) entourent l'ovule (3), dont on ne voit qu'une petite partie, et doivent traverser une couche protectrice (2). Le spermatozoïde 4 réussit sa traversée: on le voit entrer dans l'ovule, dont se détache une membrane puis, alors que le flagelle reste à l'extérieur, le noyau du spermatozoïde (cerclé de rouge) entre dans le cytoplasme de l'ovule.

C'est une fois fécondé que l'ovule devient un oeuf. Chez les grenouilles, il est transparent en surface, ce qui avait permis à J Swammerdam de voir, avec une forte loupe, après la fécondation, cet «oeuf» commencer à se diviser en plusieurs cellules...

La fécondation crée donc une cellule-oeuf à partir de laquelle se développe un nouvel individu. Dans le cas de la grenouille, **cet individu est très différent de l'adulte**: c'est un organisme complet, qui ne ressemble pas à l'adulte,mais qui, contrairement à l'adulte, ne peut pas se reproduire. On appelle ces organismes des **larves**. La reproduction sexuée avec développement de larves est très répandue dans le monde animal, particulièrement chez les insectes (vous avez tous, au primaire, étudié la reproduction du papillon et vous connaissez sa larve, la chenille), les mollusques, les crustacés et les échinodermes (il est temps de réviser la classification de sixième!).

La reproduction sexuée conserve l'espèce.

Dans les paragraphes précédents, afin d'illustrer les notions à comprendre par un exemple, j'ai parlé de «la» grenouille. Il y a toutefois un problème: **«la» grenouille n'existe pas!** En effet, sous le nom «grenouille», on regroupe **4300 espèces animales différentes**. Ainsi, Spallanzani, dès le début de son livre, prend garde à bien définir et à décrire les espèces de grenouilles qu'il a utilisées dans ses expériences. *Ci dessous, ces vues de la noire nyctibatracus, de la colorée et toxique Ranitomeya reticulata et de la plus commune Rana esculenta nous montrent bien que «la» grenouille n'existe pas! Photos Wikimedia/ FlickR - bayucca/ Wikimedia - Tregobi*



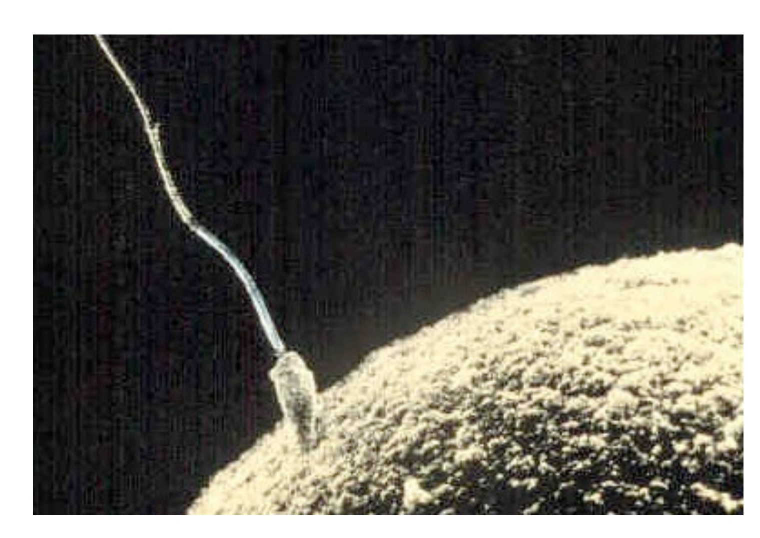




Or, et vous le savez depuis la sixième, **les animaux d'espèces différentes ne peuvent pas avoir de petits fertiles.** Au niveau des cellules reproductrices, cela veut dire qu'**un ovule provenant d'une espèce donnée de grenouille (ou de tout autre animal) ne peut être fécondé que par un spermatozoïde provenant d'un mâle de la même espèce**. Ce n'est que dans ce cas que les deux cellules sont «compatibles» et peuvent conduire à la formation d'une cellule-oeuf, puis d'un embryon.

Stade de développement	Larve	Adulte
Nom	Têtard	Grenouille
Milieu de vie	Aquatique	Aquatique / Terrestre
Organes respiratoires	Peau / Branchies	Peau / Poumons
Nourriture	Végétale	Animale (insectes)
Capacité à se reproduire	Non	Oui

Différences importantes entre une larve et l'organisme adulte correspondant: exemple des grenouilles.



Fécondation: *un spermatozoïde s'apprête à pénétrer à l'intérieur d'un ovule. Notez la différence de taille entre ces deux cellules. X 2000. La fécondation n'est possible qu'entre cellules reproductrices appartenant à une même espèce. Photo Wikimedia.*

À RETENIR: *La reproduction sexuée construit de nouveaux individus à partir de deux cellules reproductrices différentes, un spermatozoïde et un ovule, dont la rencontre est la fécondation, seulement possible entre membres d'une même espèce. On obtient ainsi une cellule oeuf qui va se développer pour donner un embryon. L'embryon peut ensuite donner un jeune, semblable à l'adulte en réduction, où bien une larve, organisme très différent de l'adulte, qui devra subir une transformation appelée métamorphose.*

7 - Des milieux de vie différents imposent des reproductions différentes

Se reproduire en milieu aquatique: beaucoup de gamètes et des fécondations réalisées au hasard

Les animaux qui vivent dans l'eau n'ont pas à craindre que leurs gamètes meurent par manque d'eau. Les gamètes peuvent donc, dans l'eau, survivre beaucoup plus longtemps qu'en milieu aérien.

L'observation de la reproduction de nombreux animaux aquatiques, de groupes très différents (coraux, crustacés, oursins, «poissons»...) montre que l'on a une **production d'un grand nombre de gamètes**, à la fois mâles (comme dans le milieu terrestre) **mais aussi femelles**: la production d'ovules est extrêmement importante, au point même de servir de base à une industrie: les «oeufs» de Lump ou d'esturgeons - le caviar - sont en fait des ovules de poisson produits en très importantes quantités par les femelles de ces espèces.

Les différents gamètes sont simplement rejetés dans l'eau, et se rencontrent au hasard. La fécondation se réalise donc dans l'eau, en dehors de l'organisme de la femelle: on parle alors de **fécondation externe.**

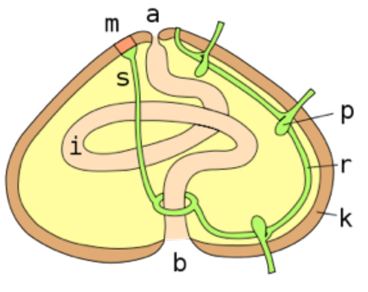
Toutefois, pour faciliter la rencontre des gamètes, il existe plusieurs façons de faire, plusieurs stratégies:

- les animaux qui vivent fixés, comme les coraux, libèrent leurs gamètes au même moment de la journée pendant la même période (généralement la nuit, une fois l'an), ce qui augmente les chances de rencontre des gamètes.
- il existe une certaine «attirance» d'origine chimique entre spermatozoïdes et ovules d'une même espèce.
- les oursins (700 espèces) vivent en groupe et libèrent en même temps ovules et spermatozoïdes dans l'eau.
- de nombreux «poissons» mâles libèrent leur sperme sur les ovules que la femelle vient de pondre. Afin de s'identifier, le mâle et la femelle exécutent auparavant des mouvements variés, ont un comportement particulier que l'on appelle une parade nuptiale, et que l'on retrouve dans de nombreux groupes d'animaux.

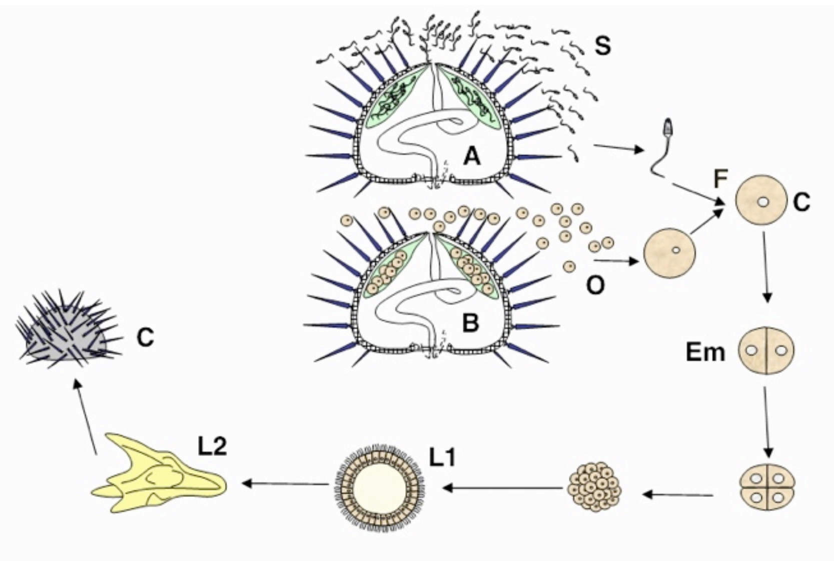
Comme les gamètes sont libérés dans l'eau, **il n'y a pas d'accouplement**: les mâles et les femelles n'ont donc pas, le plus souvent, d'organes d'accouplement.

Même si les gamètes sont produits en grand nombre au même moment, et à côté les uns des autres, **seul un faible pourcentage des ovules produits sont fécondés, et la plupart des embryons ou des larves obtenus servent de nourriture à des prédateurs**: 1000 oeufs de truites fécondés ne conduisent ainsi qu'à 25 truitelles et à quelques adultes. De même, seul un ovule sur un million de ceux pondus par une morue conduit à un individu adulte.





***Un oursin** de l'espèce Echinus acutus (photo Wikimedia/ S.van tendeloo). L'intérieur de 'animal comprend, entre la bouche* b *et* l'anus a, un intestin (i) et un ensemble de canaux (en vert) servant à actionner ses «pieds» p. L'essentiel du corps (en jaune) est occupé par les organes producteurs de gamètes. *Schéma Wikimedia/ Kilom691*.

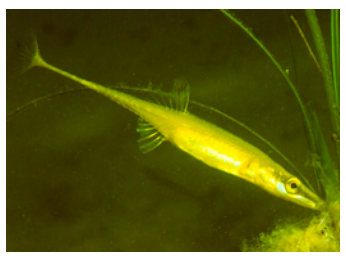


***Reproduction des oursins:** le mâle (A - vu en coupe) libère des spermatozoïdes (S) dans l'eau en même temps que la femelle (B) libère des ovules (O). La fécondation (F) se produit dans l'eau. On obtient une cellule-oeuf (C) qui se développe pour former un embryon (Em) qui donnera des larves (L1, L2) nageuses qui se métamorphoseront en un nouvel individu (C). Schéma d'après A. Gallien - SVT Dijon.*

Le grand nombre d'ovules produits implique que, le plus souvent, **il n'y a pas de soins particuliers apportés aux embryons et aux larves** qui en découlent. Toutefois, dans les espèces où les ovules sont produits en nombre limité, il y a souvent un comportement de soin, ou du moins de protection des embryons. Souvent, ces soins sont assurés par la femelle, mais ce n'est pas une obligation:



Chez les hippocampes (200 espèces différentes - photo Wikimedia/ J. Merriam), la mère pond le plus souvent entre 100 et 200 ovules dans une poche que le mâle possède sous le ventre. Le mâle libère son sperme dans cette poche, ce qui lui évite de se diluer, et les ovules sont fécondés. Ils se développent dans la poche du mâle, qui ainsi les protège, et qui finit par libérer des petits identiques à leurs parents.



Chez les épinoches, petits poissons marins (Photo Wikimedia/ F. Dieter), le mâle construit un nid en forme de tunnel avec des plantes. Sa parade lui permet d'y attirer une femelle qui va libérer dans son nid plusieurs centaines d'ovules. Le mâle arrose ensuite les ovules de son sperme (le nid permettant de confiner, de rapprocher les gamètes et d'augmenter ainsi les chances de fécondation) puis par la suite il va rester surveiller le nid et le gardera, ce qui protège les oeufs.

Dans «20000 lieues sous les mers», l'écrivain Jules Verne, en 1870, fait traverser au sous-marin Nautilus un banc de Morues. Conseil, domestique du Pr. Arronax, est surpris par le nombre de ces poissons:

- «Quelle nuée, quelle fourmilière! - Eh! mon ami, il y en aurait bien davantage, sans leurs ennemis, les rascasses et les hommes! Sais-tu combien on a compté d'oeufs dans une seule femelle?
- Faisons bien les choses, répondit Conseil. Cinq cent mille. - Onze millions, mon ami. - Onze millions. Voilà ce que je n'admettrai jamais, à moins de les compter moi-même.
- Compte-les, Conseil. Mais tu auras plus vite fait de me croire. (...) On les consomme en quantités prodigieuses, et sans l'étonnante fécondité de ces poissons, les mers en seraient bientôt dépeuplées. Ainsi en Angleterre et en Amérique seulement, cinq mille navires (...), sont employés à la pêche de la morue. Chaque navire en rapporte quarante mille en moyenne, ce qui fait vingt-cinq millions. Sur les côtes de la Norvège, même résultat.
- Bien, répondit Conseil, je m'en rapporte à monsieur. Je ne les compterai pas. - Quoi donc? - Les onze millions d'oeufs. Mais je ferai une remarque. - Laquelle?
- C'est que si tous les oeufs éclosaient, il suffirait de quatre morues pour alimenter l'Angleterre, l'Amérique et la Norvège.»

Pendant le cours...

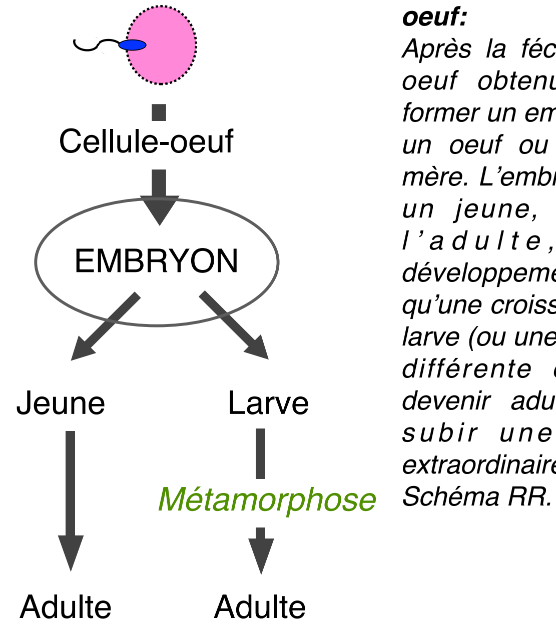
Question d'élève: *Pourquoi les mâles sont toujours plus forts que les femelles ?*

Mais les mâles ne sont pas plus forts que les femelles, loin de là! C'est une erreur de le penser, parce que nous nous basons sur les mammifères, chez lesquels, en effet, les mâles sont souvent plus grands que les femelles. Dans la majorité des groupes d'animaux, dont le plus important, les insectes, les femelles, qui produisent les ovules et pondent les oeufs, sont plus grosses que les mâles, qui parfois sont très petits

Si les animaux de la mer jettent leurs spermatozoïdes dans l'eau, alors quand on se baigne...

Oui, vous vous baignez bien parmi les millions de gamètes des animaux marins... Toutefois, pensez que le volume de l'océan est grand, et que les animaux marins ne sont pas spécialement concentrés sur les plages emplies de touristes... De plus, cela n'a rien de «sale», et, si vous y pensiez, rassurez-vous ; vous ne courrez aucun risque d'être fécondée par un aventureux spermatozoïde d'oursin ou de Morue: n'oubliez pas que la reproduction sexuée conserve les espèces !

À RETENIR: *En milieu aquatique, les gamètes survivent longtemps et sont produits en grand nombre. Ils se répandent dans l'eau et se rencontrent* ***au hasard****. La fécondation est* ***externe*** *(dans le milieu). Un faible pourcentage des ovules produits sera fécondé, et très peu conduiront à un individu adulte*



Développement de la cellule-oeuf:
Après la fécondation, la cellule-oeuf obtenue se divise pour former un embryon, protégé dans un oeuf ou à l'intérieur de sa mère. L'embryon peut conduire à un jeune, qui ressemble à l'adulte, et dont le développement ne nécessitera qu'une croissance; ou bien à une larve (ou une suite de larves) très différente de l'adulte. Pour devenir adulte, la larve devra subir une transformation extraordinaire, la métamorphose. Schéma RR.

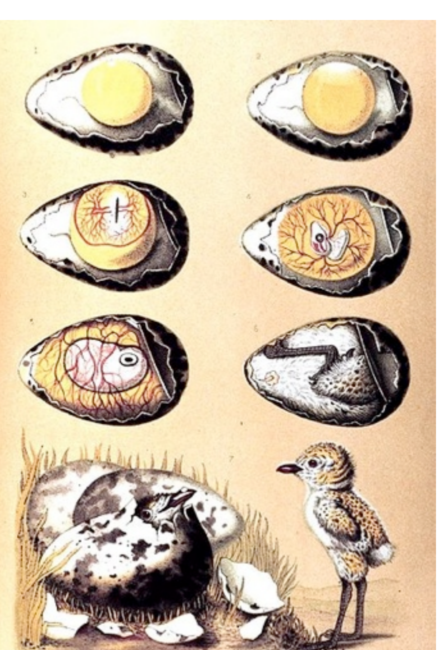
Se reproduire en milieu terrestre: peu de gamètes dont la rencontre est favorisée

En milieu terrestre, le principal problème est de protéger les gamètes, qui sont de simples cellules fragiles, et l'embryon lui-même, du dessèchement.

L'organisme de la mère protège les gamètes

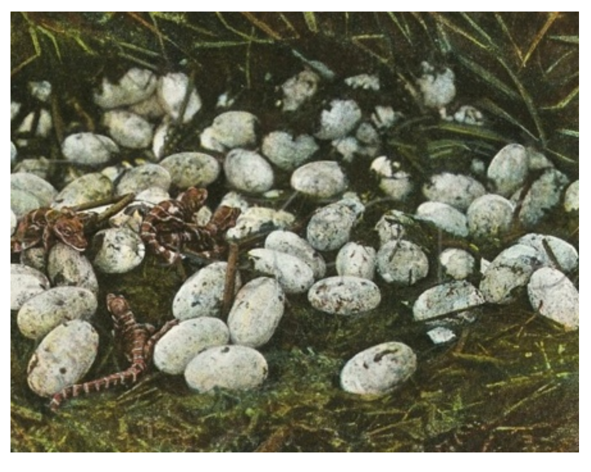
Les gamètes se rencontrent à l'intérieur de la femelle. La fécondation est interne, ce qui implique le plus souvent un accouplement du mâle et de la femelle, au cours duquel les spermatozoïdes du mâle vont passer dans le corps de la femelle, ou un autre moyen de réaliser ce transfert.

L'embryon est protégé par un oeuf à coquille ou par l'organisme de sa mère



Chez les animaux **ovipares**, la protection de l'embryon est assurée par un oeuf protégé par une coquille plus ou moins développée et efficace selon les groupes. Cet oeuf est lui-même protégé par les parents (oiseaux) ou en étant mis hors de portée des prédateurs et à l'abri du dessèchement, par exemple en l'enterrant ou en le recouvrant d'herbes (tortues et crocodiles).





Alors que les oeufs d'oiseaux assurent une protection complète des embryons, les oeufs de la grenouille Spinomantis fimbriatus ne sont protégés que par une enveloppe gélatineuse: ils doivent rester dans un milieu très humide, comme la feuille de cette plante, au-dessus d'un point d'eau (Photo Berkeley U./ F. Andreone). Chez les alligators, les oeufs, bien que possédant une fine coquille, sont recouverts de végétaux (ou enterrés dans le sable) par la femelle. Les oeufs sont ainsi maintenus à la bonne température et protégés de la déshydratation.



Au cours de l'**accouplement de ces deux libellules** de l'espèce *Lindenia tetraphylla*, les spermatozoïdes du mâle passent directement dans l'organisme de la femelle, où des ovules sont présents: les gamètes ne sont jamais en contact avec le milieu extérieur. Photo Wikimedia/ D Cirano.

Milieu	Aquatique	Terrestre
Nombre de gamètes	Nombreux spermatozoïdes Nombreux ovules	Nombreux spermatozoïdes Peu d'ovules
Rencontre des gamètes	Au hasard, dans l'eau (les parents sont toutefois proches)	Dans la femelle, après un accouplement
Fécondation	Externe (dans l'eau)	Interne (dans la femelle)
Protection des jeunes	Faible. Leur nombre très élevé assure la survie de quelques-uns.	Élevée. Les parents assurent une protection plus ou moins importante.

Différences entre la reproduction en milieu terrestre et aquatique

À RETENIR: *En milieu terrestre, les ovules sont bien moins nombreux que les spermatozoïdes et sont fécondés à l'intérieur de l'organisme maternel. Cette fécondation nécessite un accouplement entre mâle et femelle. L'embryon obtenu peut se développer en dehors de la mère, dans un oeuf 'oviparité), ou dans la mère (viviparité). Les soins apportés aux jeunes peuvent être très développés.*

Naissance d'un Bélouga
Naissance d'un Orque

Chez les animaux **vivipares** (la grande majorité des mammifères et certains requins), l'embryon se trouve protégé à l'intérieur du corps de la mère, et il va s'alimenter grâce à un organe spécial qui va lui fournir une communication avec le réseau sanguin de sa mère, comme nous le verrons plus en détail en étudiant dans le chapitre 11 la grossesse chez les humains. (voir le chapitre 11).



Il y a 40 siècles, les anciens Égyptiens aidaient déjà leurs mammifères domestiques, vivipares, à accoucher; comme le montre cette statuette du musée des beaux-arts de Lyon. Photo Wikimedia/ Rama.

8 - Le milieu de vie influence la reproduction sexuée des êtres vivants

Les ressources du milieu limitent le nombre de descendants

Pour grandir, les jeunes animaux ont besoin d'une **alimentation abondante et d'un climat favorable**. C'est d'ailleurs pour cela que les périodes de reproduction se situent souvent, sous nos latitudes, au printemps.

Ainsi, dans deux régions de latitude différente, et donc au climat différent, une même espèce ne se reproduira pas au même moment: en Norvège, le cerf s'accouple en octobre, les petits naissant en juin; alors qu'en France l'accouplement se produit en septembre et la naissance en mai. Les petits naissent plus tard dans le nord de l'Europe, car ce n'est qu'à ce moment que la végétation est assez abondante pour permettre aux mères d'avoir assez de ressources pour fabriquer du lait. **La disponibilité de la nourriture règle la période de reproduction**.

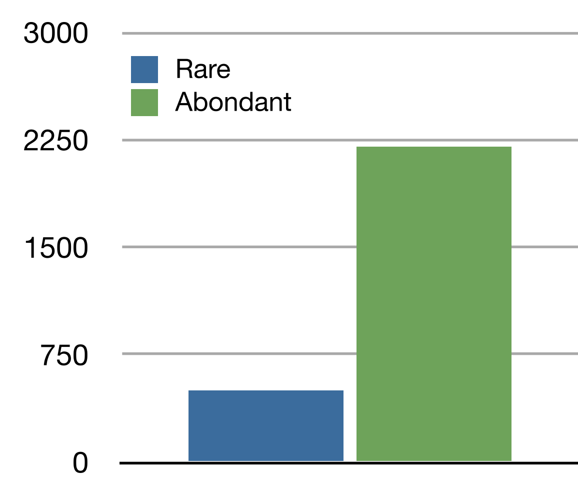
Si les ressources alimentaires sont insuffisantes pour une espèce, sa reproduction sera moins abondante. En effet, la production des oeufs, par exemple, nécessite que les femelles soient convenablement nourries: faute de nourriture suffisante, la quantité d'oeufs produits sera diminuée. Quelques exemples:



Le gypaète barbu (*Photo Wikimedia*) est une espèce de vautour européen dont il ne reste, en Corse, qu'une trentaine d'individus. Cet animal se nourrit uniquement de charognes, particulièrement celles provenant des élevages réalisés par les Humains. Au cours du XXe siècle, toutefois, l'élevage est devenu de moins en moins important en Corse, et la nourriture est devenue plus rare pour ses animaux, qui se sont beaucoup moins reproduits. Ils sont actuellement menacés de disparaître de l'île, et y sont activement protégés.



L'anchois du Pacifique (*photo Wikimedia*) est un poisson qui se nourrit d'animaux ou de plantes microscopiques constituant le plancton. Si l'on compare la fécondité des anchois femelles (voir graphe) on constate qu'il existe d'importantes différences selon la quantité de nourriture disponible. L'abondance alimentaire favorise la reproduction.



Comparaison de la production d'ovule chez deux femelles anchois de même masse, mais ne vivant pas au même endroit. L'animal qui bénéficie d'une nourriture (le plancton) abondante produit plus de 4 fois plus d'ovules que celui disposant de moins de ressources. Schéma RR.

Activités humaines et reproduction sexuée

Plusieurs aménagements réalisés par les humains **favorisent** la reproduction de certaines espèces:

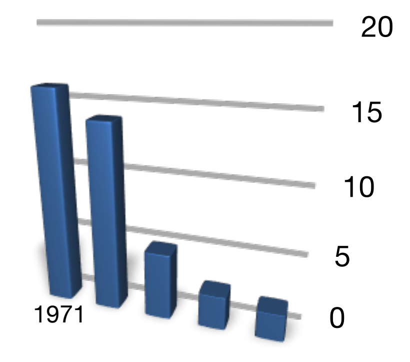
- les animaux d'élevage voient leur reproduction contrôlée, favorisée et leurs petits protégés
- des nichoirs ou des abris peuvent être fabriqués et installés afin de fournir un abri à des oiseaux ( ), des insectes ou même des hérissons
- des échelles à poissons permettent aux poissons migrateurs qui remontent les rivières pour se reproduire de ne pas être bloqués par des barrages.

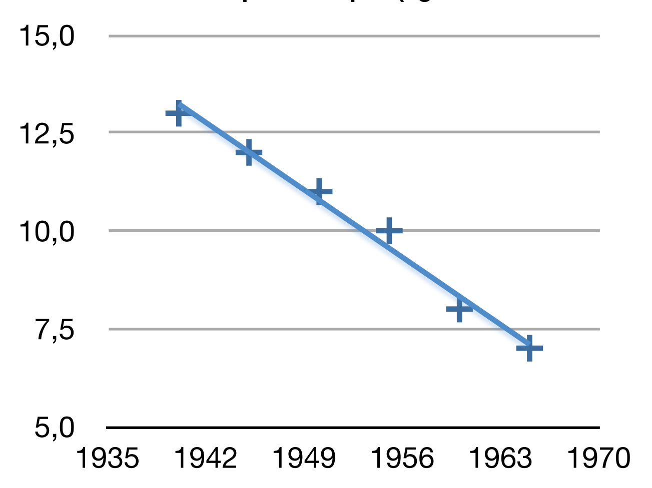
Toutefois, certaines activités ou substances d'origine humaine **gênent la reproduction** des espèces.

- Nombre d'animaux domestiques (chats, chiens...) voient leur reproduction empêchée (par castration) afin d'éviter les nuisances qui y sont liées, et les portées indésirables
- Des activités comme la chasse, mais surtout la pêche peuvent aboutir à détruire tellement d'individus adultes que seuls ceux qui se reproduisent le plus tôt ont une chance de survivre (ils se font capturer après s'être reproduit). Ainsi, petit à petit, la pêche «filtre», sélectionne les individus, et l'âge de la maturité sexuelle des individus diminue progressivement dans l'espèce.

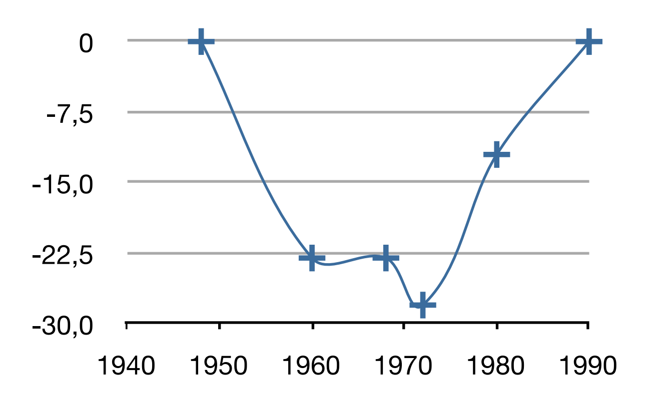


•Le cormoran à aigrettes est un oiseau (*photo ci-contre - FlickR/Mike Baird*) qui se nourrit de poisson, et qui peuple les Grands Lacs d'Amérique du Nord. Au début du 20ème siècle, il y était présent en très grande quantité. Dans les années 1960, son nombre a fortement diminué: en 1973, la population habitant les Grands Lacs avait été réduite de 86 % par rapport à son niveau du début des années 1960. A la fin des années 1960, les biologistes ont découvert la raison principale de cette diminution: l'épaisseur de la coquille des oeufs avait diminué d'un tiers, ce qui empêchait ses oeufs de supporter le poids des oiseaux adultes qui détruisaient ainsi leurs couvées. En 1972, les chercheurs ont découvert que 95% des oeufs des colonies du lac Huron étaient brisés ou avaient disparu à la fin de la couvaison. Ces indices correspondaient aux effets connus d'un insecticide, le DDT, qui lorsqu'il est absorbé par les animaux se transforme en un autre produit toxique, le DDE, qui empêche le développement de la coquille des oeufs. Cet insecticide a été interdit au canada en 1974. Après son interdiction, la population de cormoran a de nouveau fortement augmenté, le nombre d'oiseaux étant multiplié par plus de 300 en moins de vingt ans. L'épaisseur de la coquille des oeufs était redevenue normale, permettant la reproduction de la population.



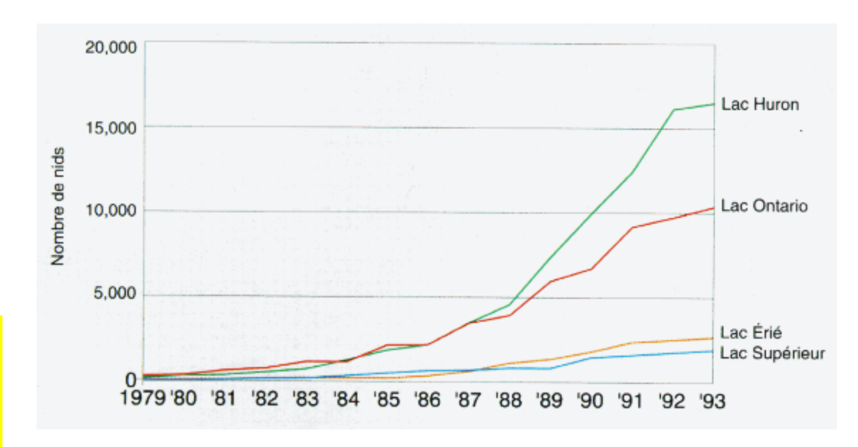


La pêche intensive du petit rorqual, une baleine, a abouti à sélectionner les individus capables de se reproduire au plus vite. Schéma RR.

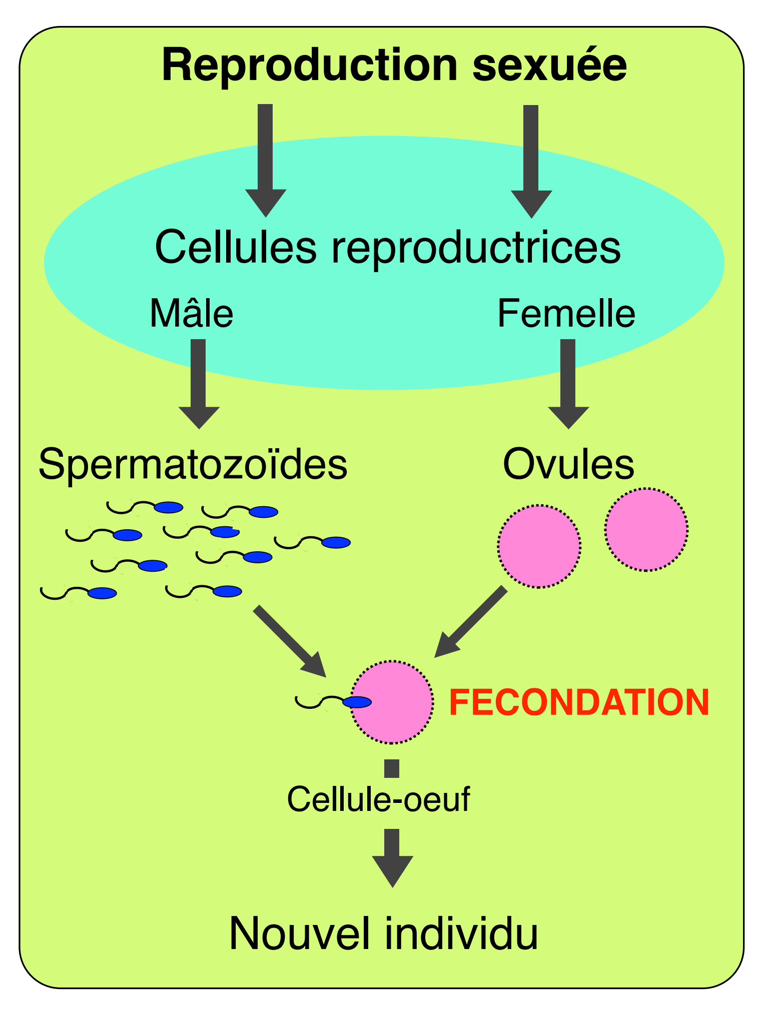


Epaisseur de la coquille des oeufs de cormorans (en %) en fonction du temps. On constate une forte diminution, entre 1955 et 1985, de l'épaisseur de la coquille des oeufs, qui ne permet plus la survie embryons écrasés par leurs parents.
Cette fragilisation est liée à la présence de DDE dans les animaux adultes (à gauche: mg de DDE/Kg d'oiseau en fonction du temps), ce produit provenant d'un insecticide. Ce dernier ayant été interdit, la teneur en DDE des cormorans a baissé, et l'épaisseur de la coquille des oeufs est revenue à la normale.
Schémas RR d'après Environnement Canada - région de l'Ontario.

Ainsi, un produit d'origine humaine avait donc fortement perturbé, de façon involontaire, la reproduction d'une espèce, au point de la faire presque disparaitre de son environnement. Toutefois, les mesures de protection ont permis de rétablir la population animale. **L'être humain peut donc préserver, porter atteinte ou recréer une diversité d'organismes dans un milieu.** Cette diversité des organismes porte le nom de biodiversité.



Nombre de nids de cormorans dans les trois grands lacs américains en fonction du temps.
Après l'interdiction de l'insecticide à l'origine de la fragilisation de leurs oeufs, les populations de cormorans des différents Grands Lacs se sont reconstituées, lentement d'abord (les stocks d'insecticides étant utilisés) puis plus vite lorsque ce produit toxique a disparu de leur environnement..
Schéma [Environnement Canada] - région de l'Ontario.



Pendant le cours...

Question d'élève: *C'est vrai que les araignées mangent leurs mâles ? Il ne devrait plus y en avoir alors ?*

Dans certaines espèces d'araignées (parmi 35000), le mâle, tout petit par rapport à la femelle, court en effet le risque d'être tué et mangé par celle-ci. Toutefois, cela ne menace pas l'espèce: les mâles sont nombreux, et souvent ils ne sont consommés qu'après l'accouplement...

Les vers de Terre y z'ont pas besoin de se reproduire: si on les coupe, ça repousse et on en a deux.

C'est une légende qui date du Moyen-Age: les vers de terre utilisent bien la reproduction sexuée. Ils ont toutefois la particularité de tous fabriquer, comme les escargots, des spermatozoïdes et des ovules, mais ils s'accouplent, chacun fécondant les ovules de l'autre avec ses spermatozoïdes, pour se reproduire.

La reproduction sexuée *se caractérise par la production de deux types différents de cellules reproductrices. Pour obtenir un nouvel individu, ces cellules doivent se rencontrer afin que la fécondation, qui est la formation d'une cellule-oeuf par fusion des noyaux de l'ovule et du spermatozoïde, puisse se dérouler. Schéma RR.*

À RETENIR: *La reproduction sexuée construit de nouveaux individus à partir de deux gamètes différents, le spermatozoïde et l'ovule, dont la rencontre est la fécondation. Entre l'embryon et l'adulte, il peut s'intercaler une forme stérile différente de l'adulte, une larve.*
En milieu aquatique, les gamètes sont produits en quantité, se répandent dans l'eau et se rencontrent ***au hasard****. La fécondation est* ***externe****. Très peu d'ovules conduisent à un individu adulte. En milieu terrestre, les ovules sont peut nombreux, la fécondation est* ***interne****, réalisée lors d'un accouplement. Les activités humaines peuvent favoriser ou gêner, volontairement ou non, la reproduction d'une espèce, au point parfois, dans ce dernier cas, de provoquer leur extinction.*

QUESTIONS DE COURS

1/ Qu'est-ce qu'une cellule reproductrice ?

2/ Qu'est ce qu'un mâle ?

3/ Qu'appelle t'on reproduction sexuée ?

4/ Pourquoi les femelles des animaux aquatiques produisent-t'elles le plus souvent beaucoup d'ovules?

5/ Qu'est ce qu'une fécondation externe ?

6/ Pourquoi la quantité de nourriture disponible dans un milieu peut-elle limiter la reproduction d'une espèce ?

COLLES

1/ Dans un tableau, comparez un oeuf de grenouille et un oeuf de poule au niveau de la protection qu'ils offrent, du milieu où on les trouve, de la température où ils se développent et de leur contenu.

2/ Réalisez un graphique (de type histogramme) comparant la production des deux types de gamètes en milieu terrestre et en milieu aquatique.

3/ Il existe des espèces de crapauds, comme le *Bufo alvarius* par exemple, qui vivent dans des zones désertiques. Quelle difficulté principale rencontrent ces animaux pour se reproduire et comment, d'après vous, y parviennent-ils ? Exposez vos hypothèses de façon logique.

4/ Pour étudier la fécondation, pourquoi les scientifiques se sont-ils embêtés à utiliser des grenouilles visqueuses et des oursins piquants plutôt que de gentilles et douces souris ?

5/ Les escargots possèdent chacun deux appareils génitaux, un mâle et un femelle. Lorsqu'ils s'accouplent, chacun féconde les ovules de l'autre. S'agit-il de reproduction sexuée ? Vous expliquerez votre raisonnement.

6/ La moule zébrée Dreissena polymorpha, originaire de la mer Caspienne, vit en eau douce et pose de graves problèmes au Canada, car elle envahit les lacs, les cours d'eau, se fixe dans les tuyaux de prises d'eau, malgré la présence de grilles à leur entrée, et peut ainsi les boucher. Pourquoi une moule peut elle facilement envahir un milieu autre que son milieu d'origine ? Comment entrent-elles dans les prises d'eau ?

EXERCICES

<u>1 - Le crépuscule des grenouilles (7 pts)</u>

Dans le monde entier, les lissamphibiens voient leur nombre diminuer. De nombreux scientifiques mettent en relation cette diminution du nombre d'individus de chaque espèce avec la présence de substances toxiques d'origine humaine dans les cours d'eau et les zones humides.

11 - Expliquez pourquoi ces substances peuvent avoir une influence sur la reproduction des animaux de ce groupe (qui sont essentiellement les grenouilles, les tritons, les salamandres et autres crapauds). (3 pts)

12 - Proposez d'autres explications à la disparition des grenouilles, en détaillant vos arguments (4 pts)

<u>2 - Des «considérations sur les corps organisés» (4 pts)</u>

Dans son livre « Expériences pour servir à l'histoire de la génération des animaux et des plantes.» paru en *1785*, Spallanzani rapporte l'observation suivante, réalisée par le philosophe et naturaliste Charles Bonnet: «Il dit avoir observé qu'un étang, resté à sec, s'était repeuplé des poissons qu'il avait eu avant, sans savoir leur origine. Pour expliquer ce phénomène, il n'imagine pas des Cigognes qui laissent tomber des poissons dans l'étang nouvellement rempli d'eau; mais...»

Mais quoi? Proposez une une plusieurs hypothèses logiques expliquant le repeuplement de l'étang par les poissons.

3 - Malheur aux mâles ! (5 pts)

La majorité des scorpions se reproduit après une parade où mâle et femelle se tiennent par les pinces et paraissent danser. En fait, le mâle conduit la femelle vers un endroit où il va déposer un amas de spermatozoïdes sous forme d'une petite baguette de quelques mm, collée au sol. Ensuite, le mâle va positionner la femelle de façon à ce que sa baguette de spermatozoïdes s'emboîte dans les voies génitales de la femelle. Cette dernière, après la parade, peut parfois tuer et manger le mâle.

31 - Par rapport aux autres animaux terrestres, quelle est la particularité de cette façon de se reproduire ? (2 pts)

32 - A quoi sert la parade effectuée ? (2 pts)

33 - Quel est pour la femelle l'intérêt de manger le mâle, un comportement relativement courant chez les arachnides ? (1 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ Une cellule reproductrice est une cellule participant au processus de reproduction d'un être vivant, c'est-à-dire, pour les humains, un spermatozoïde ou un ovule.
2/ Un mâle est un individu qui, dans une espèce, ne produit que des spermatozoïdes (ou équivalent, c'est-à-dire des gamètes mâles)

3/ La reproduction sexuée est une façon de se reproduire utilisée par les être vivants et qui nécessite, pour obtenir un nouvel individu, que se rencontrent et fusionnent deux cellules reproductrices différentes, les gamètes.

4/ Les femelles des animaux aquatiques produisent le plus souvent beaucoup d'ovules, car ces derniers sont libérés dans l'eau et rencontrent au hasard les spermatozoïdes de la même espèce. Comme ces rencontres se produisent au hasard, le nombre d'ovules produit doit être grand pour qu'un nombre acceptable ait une chance d'être fécondé.

5/ Une fécondation externe est une fécondation qui se produit en dehors du corps de la mère.

6/ La quantité de nourriture disponible dans un milieu peut limiter la reproduction d'une espèce, car:

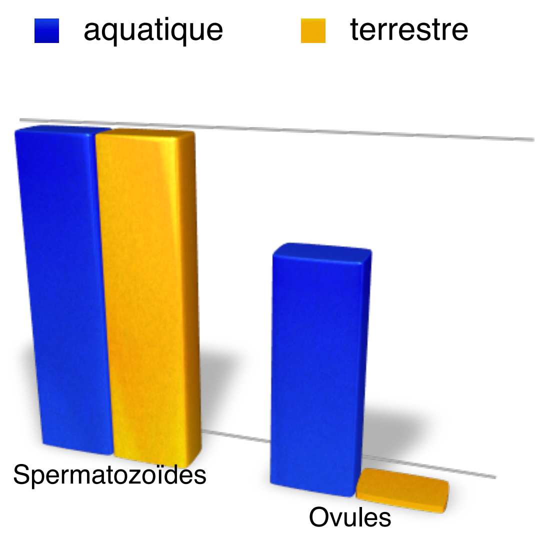
- les femelles doivent avoir assez de nourriture pour fabriquer les oeufs (ovipares) ou le lait (vivipares)
- les parents doivent s'ils nourrissent leurs petits (oiseaux...) trouver dans leur milieu assez de nourriture.
- les petits doivent disposer de suffisamment de ressources alimentaires pour grandir et se développer

COLLES

1/

Oeuf de	grenouille	poule
protection	faible, pas de coquille	coquille résistante
milieu	dans l'eau	aérien
température	celle de l'eau	élevée et peu variable, doit être couvé
contenu	embryon + réserves	embryon + réserves

2/ Votre graphique devrait ressembler un peu à celui-ci dessous:
On y constate simplement, sans préciser d'unités, que dans le milieu aquatique les gamètes des deux types sont nombreux, alors qu'en milieu terrestre les ovules, protégés, sont plus rares.



3/ Les crapauds, comme le *Bufo alvarius*, vivant dans des zones désertiques, sont confrontés à la difficulté suivante: leurs oeufs se développent dans l'eau, et l'eau est rare dans leur milieu.
On peut donc supposer que leur reproduction:

- se produit rapidement dès que de l'eau est disponible.
- Nécessite que les oeufs et les têtards se développent très rapidement, avant que l'eau ne disparaisse
- on peut supposer que les têtards sont susceptibles de s'enfoncer dans la boue et d'y attendre les prochaines averses.
- La production de gamètes doit être importante, car le taux de survie doit être très faible.

4/ Les grenouilles et les oursins présentent le grand avantage d'être des espèces à fécondation externe, contrairement à la souris. La fécondation se passant dans l'eau chez ces espèces, il est facile de l'observer au microscope, ce qui n'est pas le cas chez la souris, où elle se produit à l'intérieur de la femelle... De plus, le nombre de gamètes produits est bien plus élevé chez les oursins, ou même les grenouilles, ce qui augmente d'autant les chances de récolter ces gamètes et d'observer la fécondation. L'ovule de grenouille présente de plus la particularité d'être assez gros, ce qui facilite les expériences que l'on peut réaliser sur lui.

5/ Les escargots utilisent bien la reproduction sexuée, même si chaque individu fabrique les deux types de gamètes: pour obtenir un nouvel individu, il faut bien que les spermatozoïdes de l'escargot A fécondent les ovules de l'escargot B. Le fait qu'en même temps l'escargot B féconde avec ses spermatozoïdes les ovules de A ne change rien à ce fait: on a bien les deux types de gamètes, donc une reproduction sexuée (la seule particularité est qu'ici un seul individu est capable de fabriquer les deux types de gamètes (mais attention, il ne peut pas se féconder lui-même !).

6/ Une moule peut facilement envahir un milieu autre que son milieu d'origine car c'est un animal qui, vivant fixé en milieu aquatique, se reproduit en fabriquant une grande quantité de gamètes libérés dans l'eau. Dans son milieu d'origine, une grande partie des gamètes et des embryons sont consommés par différents animaux, mais si on change de milieu, il y a moins, ou pas, de prédateurs, et la moule peut alors se reproduire de façon «explosive» en envahissant un milieu.
Ce ne sont pas les moules adultes qui entrent dans les tuyaux de prises d'eau, mais leurs larves microscopiques qui passent à travers les grilles, puis se métamorphosent à l'intérieur en adultes qui s'accrochent aux parois.... et bouchent les tuyaux!

EXERCICES

1 - Le crépuscule des grenouilles (7 pts)

11 - Des substances toxiques peuvent avoir une influence sur la reproduction des grenouilles, tritons, salamandres et crapauds, car ces animaux se reproduisent dans l'eau, et leurs oeufs, peu protégés, s'y trouvent également. Ainsi, un produit toxique pourra pénétrer dans l'oeuf et tuer l'embryon, ce qui diminue fortement l'efficacité de la reproduction de ces animaux. Avec de moins en moins de petits, le nombre d'individus diminue de génération en génération, et l'espèce est menacée.

12 - D'autres explications à la disparition des grenouilles (tout n'était pas à découvrir, et il peut y en avoir d'autres!):

- On peut supposer que comme ces animaux vivent en contact avec l'eau, les produits toxiques traversent leur peau et intoxiquent les adultes.
- On peut aussi proposer que ces substances rendent les animaux moins fertiles (production de moins d'ovules, ou de spermatozoïdes endommagés) ou même que les animaux deviennent stériles.
- On peut envisager la diminution des territoires où les lissamphibiens peuvent se reproduire tranquillement, les étendues d'eau douce étant de plus en plus utilisées par les humains:ces animaux disparaîtraient parce qu'ils ont de moins en moins de place dans les paysages.
- On peut aussi penser qu'un éventuel changement de climat, local ou général, peut diminuer la quantité d'eau disponible pour la reproduction, ou qu'un ensoleillement plus fort endommage la peau des adultes et réchauffe trop les eaux pour que les têtards s'y développent...

2 - Des «considérations sur les corps organisés» (4 pts)

Comment un étang à sec peut-il être repeuplé par des espèces de poissons qui étaient présentes avant son assèchement ? Voyons déjà l'hypothèse de Charles Bonnet (ci-après - attention, en vieux Français le «s» s'écrit «f» et le «ai» s'écrit «oi»): il imagine que des oeufs de poisson se sont conservés dans la vase, ce qui est possible. Mais il y a d'autres possibilités:

- des oiseaux aquatiques (canards...) peuvent avoir transportés sur leurs pattes ou dans leur plumage, ou même leur bec, des embryons ou des oeufs de poissons. Ces derniers ne restant vivants que sur de courtes distances, il n'est pas étonnant de retrouver les mêmes espèces de poisson que celles répandues dans la région.
- Il est possible que l'eau utilisée pour remplir à nouveau l'étang provienne d'un cours d'eau ou d'un autre étang, ce qui a amené de nombreux oeufs et larves microscopiques.
- Il est aussi possible que des poissons aient été volontairement réintroduits dans l'étang par les habitants de la région, sans que Bonnet en ait été informé...

3 - Malheur aux mâles ! (5 pts)

31 - Par rapport aux autres animaux terrestres, la reproduction des scorpions est particulière, car elle ne nécessite pas d'accouplement, les spermatozoïdes séjournant quelques minutes dans le milieu extérieur.

32 - La parade effectuée sert non seulement à bien positionner la femelle, mais aussi à une bonne identification des individus comme appartenant à la même espèce. Cette parade peut aussi servir à accepter ou refuser certains mâles (qui sont alors tués...)

33 - La femelle va devoir s'occuper des petits, ce qui demande de l'énergie. Le mâle, qui ne «sert» plus à rien (pour l'espèce) une fois qu'il s'est reproduit, est une excellente source d'énergie...

Glossaire



Banc de méduses. Ces animaux peuvent se reproduire de façon massive. Photo Wikimedia.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Accouplement: Rapprochement des deux individus au cours duquel le mâle dépose ses spermatozoïdes à l'intérieur de la femelle.

Biodiversité: nombre d'espèces différentes d'êtres vivants peuplant un milieu.

Cellule oeuf: première cellule d'un futur individu.

Disponibilité: facilité à trouver ou à se procurer un aliment, par exemple, ou à trouver une proie.

Échinoderme : Groupe d'animaux rassemblant essentiellement les oursins et les étoiles de mer.

Embryon : futur individu provenant de la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde, et dont le développement n'est pas terminé.

Espèce : ensemble d'individus qui peuvent se reproduire entre eux et donner ainsi naissance à des individus fertiles. Généralement les animaux d'une même espèce se ressemblent physiquement.

Fécondation: moment où le noyau d'un spermatozoïde fusionne avec celui d'un ovule, donnant ainsi naissance à une nouvelle cellule, la cellule-oeuf. Par extension, on appelle fécondation le moment ou le spermatozoïde entre dans l'ovule.

Fertile: qui peut se reproduire.

Gamète: cellule reproductrice.

Insémination: fécondation artificielle réalisée en provoquant le contact entre spermatozoïdes et ovule.

Larve: stade de développement d'un individu, intermédiaire entre l'embryon et l'adulte, capable de mener une vie indépendante et souvent très différente de l'adulte. Une larve n'est pas capable de se reproduire.

Lissamphibien : groupe de vertébrés comprenant les grenouilles, les crapauds ainsi que les salamandres et les tritons.

Métamorphose: transformation d'une larve en adulte. Elle s'accompagne souvent d'un stade intermédiaire entre larve et adulte, la nymphe (chrysalide chez le papillon).

Milieu: endroit où vit un être vivant. Le milieu est décrit pas sa physique (température, humidité, ensoleillement) mais aussi par sa biologie (animaux et végétaux présents).

Oeuf: ensemble permettant le développement des embryons chez les individus ovipares. Un oeuf comprend un embryon, une quantité variable de réserves nutritives pour cet embryon et une couche de protection.

Ovipare: animal dont les petits se développent dans un oeuf, à l'extérieur du corps de leur mère.

Ovule: gamète femelle.

Parasite: être vivant qui se nourrit et se développe aux dépens d'un autre être vivant.

Philosophe: Dans l'Antiquité, premiers hommes à avoir créé et développé l'attitude scientifique, en essayant d'expliquer le monde par l'observation et la réflexion, sans faire appel à des causes surnaturelles.

Prédateur: animal capable de chasser activement les autres animaux dont il se nourrit.

Reproduction : capacité d'un être vivant à fabriquer d'autres êtres vivants qui lui ressemblent

Sexuée: qui utilise le sexe, c'est à dire, en fait, deux gamètes différents, pour obtenir de nouveaux individus.

Singulièrement : de façon particulière, qui mérite d'être remarquée.

Sperme: liquide contenant les spermatozoïdes

Têtard: larve des grenouilles et des crapauds.

Truitelle: jeune truite

Utérus : muscle creux où l'embryon se développe chez les mammifères.

Visqueux: au contact gluant.

Vivipare : Être vivant dont les petits se développent à l'intérieur du corps de leur mère.

Illustrations

Insectes en train de se reproduire sur une feuille. Photo RR.



Idées de lecture

Manuel universel d'éducation sexuelle à l'usage de toutes les espèces

Olivia Judson, 2005, Seuil

Un livre amusant où l'auteur, une célèbre biologiste anglaise, répond à des lettres envoyées par divers animaux se plaignant de leurs conjoints respectifs...

Les souvenirs entomologiques, de JH Fabre (parus entre 1891 et 1907)

Cette série de livres, dont on peut trouver les textes sur le web, raconte la vie des insectes et la façon dont JH Favre, un des meilleurs biologistes de son époque, excellent écrivain, a pu les étudier.

Idées de films

Microcosmos, 1996, de C. Nuridsany et M. Pérennou. Documentaire tourné en Aveyron

La guerre des insectes, ancienne série TV en 4 épisodes de P. Kassovitch, 1981: des insectes ravageurs à la reproduction rapide menacent les réserves mondiales de blé.

Dr Tatiana, Conseils sexuels à toutes les espèces animales.

Réalisé en 2005 par J.D. Robert, ce documentaire déjanté est la version «folle» du livre d'Olivia Judson, qui joue ici son propre rôle...

Un texte «classique»

Il y a très peu, ou pour ainsi dire pas, de poésies dédiées aux comportements reproducteurs des animaux. Voici donc un extrait de l'oeuvre scientifique et littéraire de JH Fabre, décrivant la reproduction des mantes religieuses...

«Nous sommes vers la fin d'août. Le mâle, fluet amoureux, juge le moment propice. Il lance des oeillades vers sa puissante compagne ; il tourne la tête de son côté, il fléchit le col, il redresse la poitrine. Sa petite frimousse pointue est presque visage passionné. En cette posture, immobile, longtemps il contemple la désirée. Celle-ci ne bouge pas, comme indifférente. L'amoureux cependant a saisi un signe d'acquiescement, signe dont je n'ai pas le secret. Il se rapproche ; soudain il étale les ailes, qui frémissent d'un tremblement convulsif. C'est là sa déclaration. Il s'élance, chétif, sur le dos de la corpulente; il se cramponne de son mieux, se stabilise. En général, les préludes sont longs. Enfin l'accouplement se fait, de longue durée lui aussi, cinq à six heures parfois.

Rien qui mérite attention entre les deux conjoints immobiles. Enfin ils se séparent, mais pour se rejoindre bientôt, de façon plus intime. Si le pauvret est aimé de la belle comme vivificateur des ovaires, il est aimé aussi comme gibier de haut goût. Dans la journée, en effet, le lendemain, au plus tard, il est saisi par sa compagne, qui lui ronge d'abord la nuque, suivant les us et coutumes, et puis méthodiquement, à petites bouchées, le consomme, ne laissant que les ailes. Ce n'est plus ici jalousie de sérail entre pareilles, mais bien fringale dépravée.

La curiosité m'est venue de savoir comment serait reçu un second mâle par la femelle qui vient d'être fécondée. Le résultat de mon enquête est scandaleux. La Mante, dans bien des cas, n'est jamais assouvie d'embrassements et de festins conjugaux. Après un repos de durée variable, la ponte déjà faite ou non, un second mâle s'accepte, puis se dévore comme le premier. Un troisième lui succède, remplit son office et disparaît mangé. Un quatrième a semblable sort. Dans l'intervalle de deux semaines, je vois ainsi la même Mante user jusqu'à sept mâles. A tous elle livre ses flancs, à tous elle fait payer de la vie l'ivresse nuptiale.»

Jean-Henri FABRE, Souvenirs entomologiques,1897, Vème Série, Chapitre 19.

La puberté, période de changements où le corps devient capable de se reproduire



Deux adolescents s'enlacent tendrement sur une plage alors qu'un enfant joue dans leurs dos. La puberté les conduit de l'insouciance de l'enfance aux questions et aux sentiments qui troublent les adolescents. Photo US National archives.

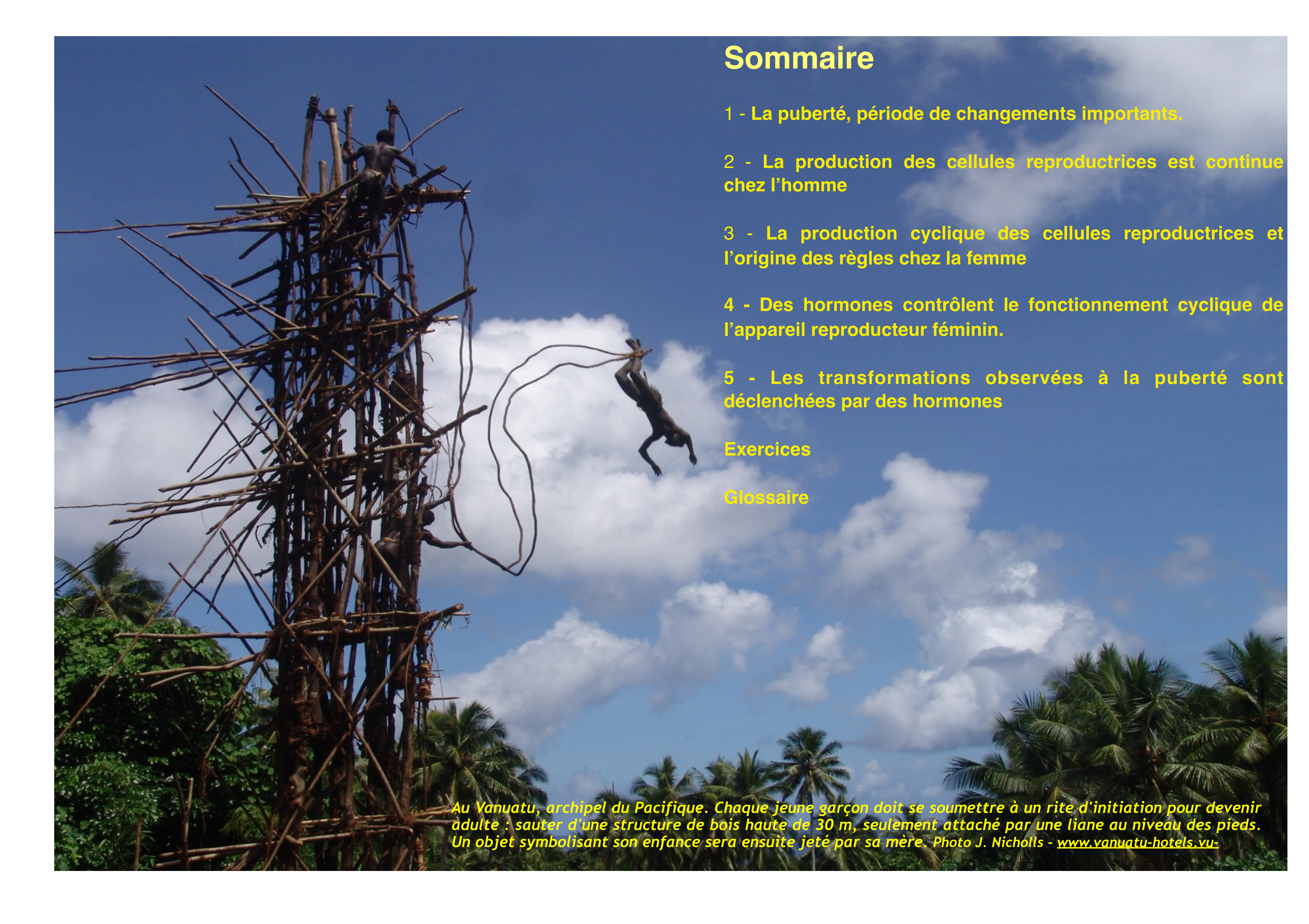
Une période très particulière de la vie…

Pendant la puberté, l'individu devient capable de se reproduire. Elle se déroule pendant l'adolescence, marquant ainsi le passage de l'enfance à l'âge adulte.

L'organisme d'un enfant est capable de réaliser toutes les grandes fonctions d'un être vivant, comme la digestion, par exemple, mais il n'est pas encore en mesure de transmettre la vie, c'est-à-dire de se reproduire. Le développement de cette nouvelle capacité s'accompagne de changements majeurs dans le fonctionnement du corps, et donc aussi dans celui de l'esprit.

De tout temps, la puberté (du latin *pubere - se couvrir de poils)* a été perçue par les sociétés humaines comme une étape très importante de la vie, qui a donc donné lieu, dès l'antiquité, à des cérémonies et des rites qui continuent d'exister encore aujourd'hui dans de nombreuses civilisations.

Au cours de ce chapitre, nous observerons les changements principaux du corps et du comportement associés à la puberté, puis nous étudierons ensuite le fonctionnement des organes reproducteurs masculins et féminins.



Sommaire

Au Vanuatu, archipel du Pacifique. Chaque jeune garçon doit se soumettre à un rite d'initiation pour devenir adulte : sauter d'une structure de bois haute de 30 m, seulement attaché par une liane au niveau des pieds. Un objet symbolisant son enfance sera ensuite jeté par sa mère. Photo J. Nicholls - www.vanuatu-hotels.vu-

Quelques changements importants du corps se produisant à la puberté

Le passage à l'âge adulte correspond au début du fonctionnement complet des organes reproducteurs, mais ce n'est pas ce changement qui est le plus visible! D'autres modifications transforment littéralement le corps de l'adolescent, en quelques mois ou en quelques années. Observons quelques changements de ce corps.

Une poussée de croissance.

«*Mais comme tu as grandi !* » Beaucoup d'adolescents entendent cette phrase lors d'une visite ou d'une rencontre en famille. L'augmentation de la taille de l'individu lors de la puberté est un caractère sexuel secondaire souvent très marqué. Au cours de la vie, l'être humain grandit essentiellement lors de deux périodes bien distinctes (voir graphe). La première correspond aux trois premières années de la vie. La deuxième correspond à la puberté pendant laquelle l'augmentation annuelle de la taille peut atteindre plus de dix centimètres !

L'acné.

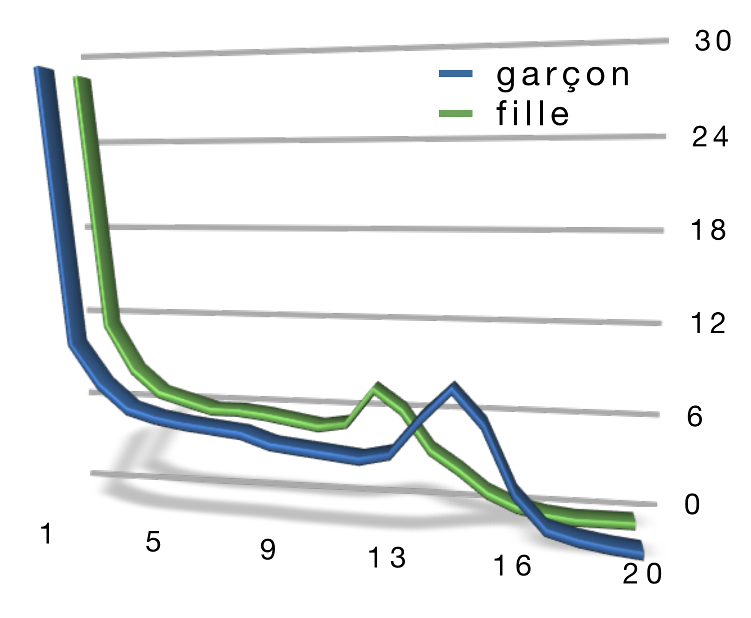
Parmi les désagréments qui accompagnent la puberté, l'apparition de boutons, principalement sur le visage et le cou, n'aide pas le jeune homme ou la jeune femme à se sentir bien dans son corps! Ce phénomène est causé par un fonctionnement trop important de glandes qui se trouvent dans la peau et qui ont pour rôle de sécréter un liquide gras, le sébum, qui doit protéger celle-ci. Lors de la puberté, lorsque ces glandes produisent trop de sébum, celui-ci peut obstruer le pore et s'accumuler. Cela peut donner lieu à une infection qui cause le bouton, la rougeur et la douleur associée.

Le développement de la musculature.

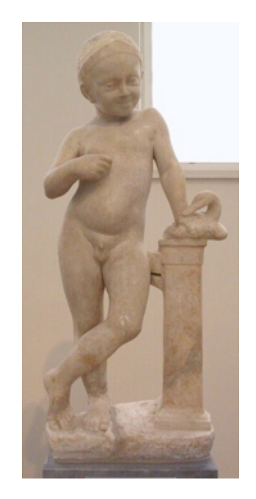
Au moment de la puberté, les garçons voient leurs épaules s'élargir et leurs muscles se développer considérablement. Il s'ensuit une augmentation importante de la force musculaire. Les éducateurs sportifs considèrent que, pour bien des disciplines, c'est véritablement à la puberté que se révèlent les futurs talents. Parfois, cette augmentation de la force musculaire peut s'avérer gênante, parce que l'adolescent ne la maîtrise pas forcément.

Le surprenant développement passager des seins chez le garçon.

C'est un aspect de la puberté masculine dont on parle peu, mais qui touche 70 % des garçons entre 13 et 16 ans: il arrive que la poitrine du garçon commence à gonfler un peu, parfois plus d'un côté que d'un autre. Sous l'aréole (le téton), un disque mou de quelques cm se forme et prend du volume. Rassurez-vous, vous n'êtes pas en train de vous transformer en fille! Ce léger gonflement est parfaitement normal et va disparaître en un ou deux ans.



Croissance annuelle (en cm) en fonction de l'âge. *Après les premières années de vie, nous grandissons à une vitesse régulière, mais au moment de la puberté on observe une augmentation brusque de la vitesse de croissance, sous forme de deux «pics». Cette croissance plus rapide se produit en premier lieu chez les filles. Document RR.*





Des différences substantielles.

La comparaison de ces deux statues classiques montre bien qu'entre le corps de l'enfant et celui de l'adulte, il n'y a pas qu'une différence de taille, mais aussi de proportions et de structure. Photos Flick R - Frans Harren/ PurpleGecko

La puberté est marquée par des changements de l'esprit

Le développement du désir sexuel.

Nous sommes en mars 1944, à Amsterdam, dans l'appartement secret aménagé dans l'Annexe de l'entreprise d'Otto Frank, un père de famille juif. Toute la famille vit réfugiée dans cette cachette depuis juillet 1942 pour échapper aux nazis qui occupent la région. Anne Frank est la fille cadette d'Otto. Elle à quatorze ans. Pendant deux ans, elle va tenir un journal intime qui ne sera retrouvé qu'après le retour de son père des camps de concentration. Dans ce journal, elle raconte notamment sa relation avec Peter Van Pels, un garçon avec lequel elle vit dans cette cachette.
« *Je suis heureuse de parler avec Peter, mais j'ai toujours peur de l'ennuyer. Il m'a raconté beaucoup de choses […] et je me demande toutes les cinq minutes comment il se fait que j'en désire toujours plus* ». Anne évoque également ses sentiments à l'égard de ses parents pendant cette période : « *Ils* [ses parents] *ne peuvent rien soupçonner de mes sentiments intimes, si ce n'est que je me montre chaque jour plus froide et plus méprisante avec Maman, que je fais moins de câlineries à Papa. […] la guerre fait encore rage en moi, une guerre entre mon désir et ma raison*».



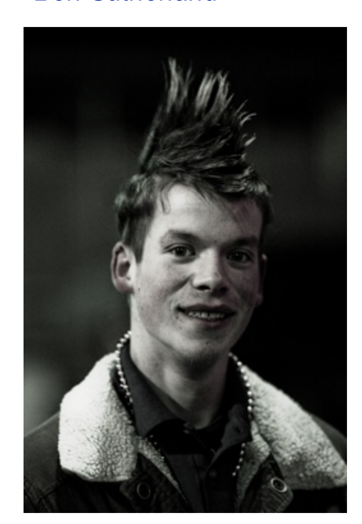
Une reconstitution.

Anne Franck est ici représentée à l'époque où elle écrivait son journal, contrainte de vivre son adolescence cachée, ne pouvant se confier qu'a ses cahiers.. Photo Ben Sutherland

Ces impressions et ces attitudes témoignent des changements comportementaux qui accompagnent l'**adolescence**. La puberté ne se limite pas aux organes reproducteurs qui deviennent fonctionnels. La reproduction inclue également l'apparition de comportements particuliers: l'attirance vers les individus de l'autre sexe (le plus souvent), le développement du désir sexuel et la découverte des plaisirs qui s'y rapportent, l'affirmation de la personnalité, souvent en opposition avec les modèles parentaux. Ainsi, avant la puberté, l'enfant ne présente pas du tout les mêmes comportements vis-à-vis d'autres enfants de sexe différent: Roald Dahl, dans son roman autobiographique *Moi Boy,* écrit que lorsqu'il avait neuf ans «*Pour une raison qui nous échappait à nous autres les enfants, les amoureux n'éprouvaient pas franchement de désir de se voir suivis*». On le voit, les enfants ne comprennent pas vraiment l'attirance entre les adultes de sexes différents.

L'affirmation de la personnalité.

Les enseignants sont bien placés pour témoigner des moments difficiles vécus par les adolescents pendant la puberté. Il est souvent beaucoup plus délicat d'obtenir de bonnes conditions de travail dans une classe de quatrième que dans un autre niveau. L'autorité est fréquemment mal vécue par les élèves qui la repoussent souvent, ce qui se traduit par quelques accrochages. De même, de nombreuses disputes opposent le jeune et ses parents. D'une manière générale, le comportement devient plus agressif. En effet, le besoin de s'affirmer entraine des «démonstrations de force» et la mise à l'écart des modèles de comportement les plus répandus, en premier lieu celui constitué par la façon de vivre des parents.



Transgression.

Pour devenir adulte, l'adolescent doit rejeter les valeurs de l'enfance, comme l'obéissance et la valorisation des parents, au profit de l'affirmation de sa différence, ce qui passe tout d'abord par une nouvelle apparence. Photo FlickR Travis(ty)

Cette attitude n'a rien de nouveau. Il y a 2500 ans, le philosophe grec Socrate écrivait déjà : «*nos jeunes aiment le luxe, ont de mauvaises manières, se moquent de l'autorité et n'ont aucun respect pour l'âge. A notre époque, les enfants sont des tyrans*» ...

Les adolescents ont également tendance à former des groupes dans lesquels ils peuvent se comprendre, et qui ont leurs propres codes d'appartenance. Par ailleurs, les jeunes, notamment les garçons, sont plus enclins à adopter des comportements à risques: consommation de drogues, conduite dangereuse... Enfin, la sensation de mal-être qui accompagne souvent la puberté, et qui est liée à la difficulté «d'habiter» un corps qui change et qui parfois est ressenti comme décevant, ou étranger, se traduit hélas par un nombre important de suicides, ce dernier représentant la deuxième cause de mortalité des adolescents.

Crise, déprime... de l'aide est disponible gratuitement et de façon anonyme:
Fil Santé Jeunes - 0800 235 236
Suicide Ecoute - 01 45 39 40 00

La puberté : un nouveau corps à investir

La **puberté** a été et reste célébrée dans de nombreuses civilisations comme le passage de l'enfance à l'âge adulte. Dans la Rome antique, les garçons de 14 à 19 ans fêtaient leur sortie de l'enfance en revêtant la toge virile lors des fêtes de Liber en septembre. Ainsi, en l'an 51, Néron devint proconsul, et prononça son premier discours au sénat de Rome, à l'âge de 14 ans. Trois ans plus tard, Il était empereur.

Si la puberté possède une telle valeur symbolique dans de nombreuses sociétés, c'est parce que des changements majeurs du corps se produisent. Ces modifications se produisent au cours d'une période d'une dizaine d'années, entre 8 et 18 ans chez la jeune fille et 10 et 18 ans chez le jeune garçon.

Chez le garçon, les premiers signes de la puberté sont l'augmentation de volume des testicules, l'apparition des poils pubiens et le développement du pénis. Un évènement «marquant» l'entrée dans la puberté est constitué par les premières éjaculations involontaires, survenant la nuit, pendant des rêves.

Chez la fille, c'est le début du développement des seins qui constitue le premier signe visible de la puberté, il est suivi par l'apparition des poils pubiens. L'évènement marquant nettement l'entrée dans la puberté est l'apparition des règles, écoulements sanguins périodiques évacués par le vagin.

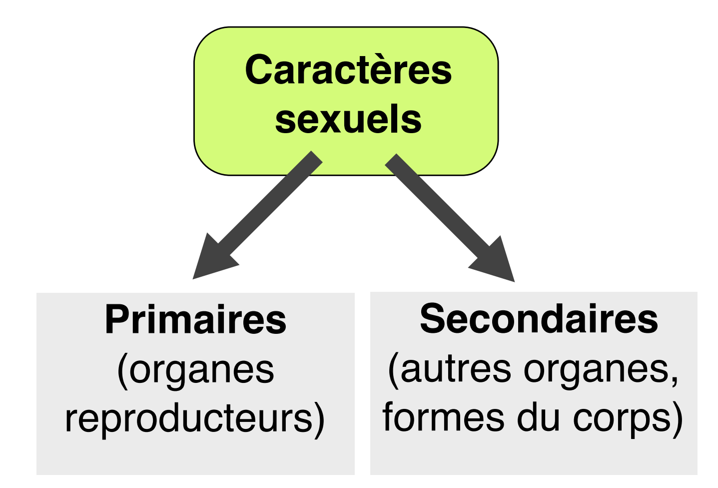
Pendant toute la puberté, on observe principalement:

- chez les filles, le développement des seins, un élargissement de la silhouette au niveau des hanches.
- chez les garçons, les poils font leur apparition au niveau du visage et la musculature se développe, ce qui est particulièrement visible au niveau des épaules qui s'élargissent considérablement.
- Pour les deux sexes, outre le développement des poils au niveau du pubis, la puberté est aussi marquée par une importante phase de croissance, la taille pouvant augmenter de plusieurs centimètres par an. Les voix deviennent également plus graves, même si la mue est beaucoup plus marquée chez le garçon que chez la fille. La peau devient beaucoup plus grasse parce que les **glandes sébacées** (situées sous la peau) sécrètent beaucoup de **sébum** (une substance grasse qui protège la peau). L'activité trop importante de ces glandes peut conduire à l'**acné**.

L'ensemble de ces changements, pour la plupart très visibles, correspondent à l'apparition des **caractères sexuels secondaires**, c'est-à-dire des traits qui permettent de distinguer les individus des deux sexes, mais qui ne sont pas les organes sexuels eux-mêmes. Ces traits n'interviennent pas directement dans le fonctionnement de l'appareil reproducteur, car ils ne participent pas à la production des cellules reproductrices.

Parallèlement à l'apparition des caractères sexuels secondaires, le fonctionnement du cerveau est modifié, aboutissant à des changements de comportement des filles et des garçons pendant la puberté. Ainsi, les rapports entre filles et garçons vont généralement évoluer d'une certaine indifférence à une attirance vers l'individu de l'autre sexe. C'est la naissance du désir sexuel.

Par ailleurs, la traversée de la puberté est souvent synonyme de mal-être pour l'adolescent dont la personnalité s'affirme souvent par opposition aux modèles parentaux. On parle alors de « crise d'adolescence ». Ces changements de comportement sont nécessaires à la reproduction sexuée, dans la mesure où ils préparent l'esprit de l'individu à accomplir cette fonction.



Différents caractères sexuels.

On différencie les caractères sexuels constitués par les organes reproducteurs eux-mêmes (dits primaires) des caractères sexuels touchant d'autres organes, et qui sont dits secondaires (musculature, voix, larges épaules des garçons, par exemple, hanches, taille et seins des filles...)

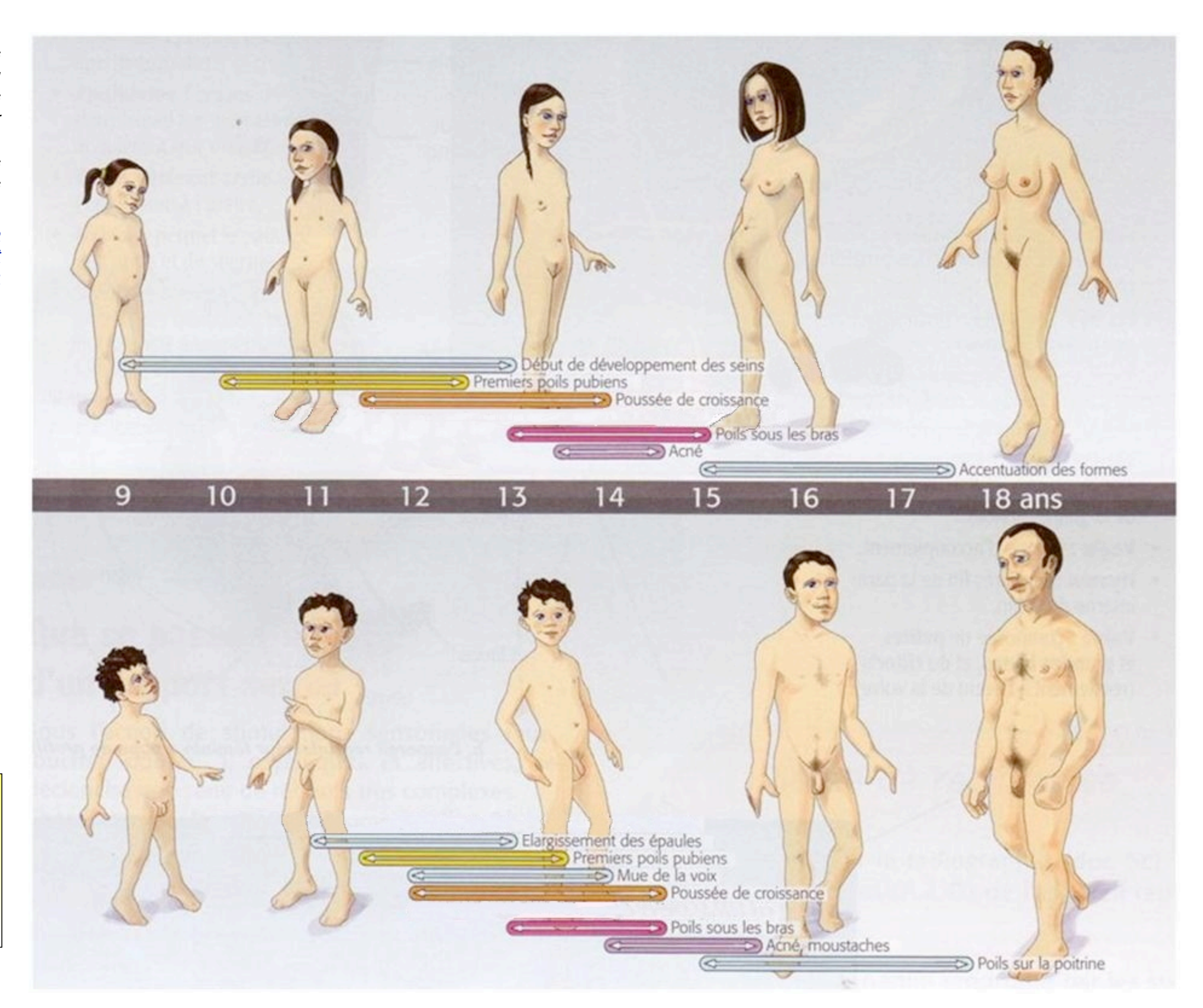
À RETENIR

Au moment de la puberté, le corps subit de grandes transformations: les caractères sexuels primaires (organes génitaux) et secondaires (Augmentation de la taille, poils pubiens, seins, règles...) se développent. Ces changements se produisent progressivement pendant quelques années, plus tôt en moyenne chez les filles que chez les garçons. Parallèlement, le comportement de l'individu change, les relations entre les garçons et les filles évoluent et le désir sexuel se développe et s'intensifie.

Des changements progressifs

Pendant une dizaine d'années, les changements se succèdent, liés au fonctionnement des organes reproducteurs. Bien que leur ampleur varie un peu selon les individus, l'ordre et la durée de ces modifications sont similaires chez tous les individus du même sexe.

Schéma d'après la [banque de situation d'apprentissage et d'évaluation de l'académie de la Réunion.]



WEB

[Une explication à la mue de la voix au travers de l'histoire d'un jeune adolescent.]

La production des cellules reproductrices est continue chez l’homme.

Pour se reproduire, il est nécessaire que l’homme introduise du sperme dans le vagin de la femme. Ce liquide provient de l’appareil reproducteur masculin et contient les cellules reproductrices mâles, les spermatozoïdes. Où, quand et comment le sperme est-il produit ? Que contient-il ? Comment cela a-t-il été découvert ? Voici un certain nombre de questions auxquelles nous allons répondre au cours des pages suivantes.

Le sperme contient des cellules reproductrices masculines

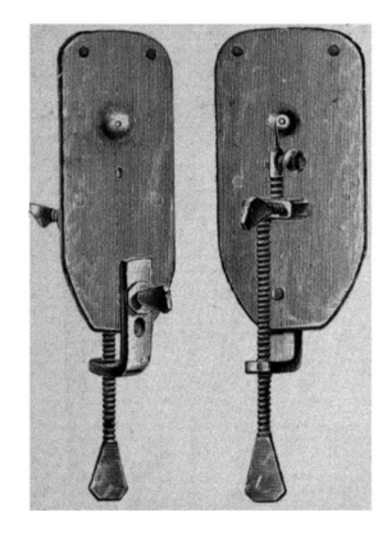
Lors de la puberté, l’appareil reproducteur du garçon se met à produire le **sperme**. Les premières émissions de sperme, ou **éjaculations,** sont souvent involontaires, et ont lieu pendant la nuit, au cours de rêves érotiques.

Le sperme est un liquide visqueux, de couleur blanchâtre et composé essentiellement d’un mélange de plusieurs liquides produits dans différentes parties de l’appareil reproducteur. Définir son rôle exact dans la reproduction a été l’un des problèmes qui se sont posés aux premiers biologistes, mais pour commercer à répondre valablement, il a fallu attendre la fin du 17éme siècle, où plusieurs scientifiques ont mis au point les premiers microscopes en utilisant et perfectionnant des lentilles utilisées pour contrôler la qualité des tissus.

Ils observent alors tout ce qui leur tombe sous la main, et c’est ainsi qu’en 1675 le hollandais Louis Hamm découvre dans le sperme des «animaux» microscopiques. Il pense toutefois que ce sont des parasites responsables de maladies, et c’est Antoni Van Leeuwenhoek, un drapier hollandais qui construisait des microscopes, qui en 1677 va publier sa découverte d’«animalcules» dans ce liquide et va clairement proposer qu’ils jouent un rôle dans la reproduction. Ces spermatozoïdes (terme qui signifie «animaux du sperme») vont être étudiés en détail. Les observateurs ont parfois plus d'imagination que de rigueur, ainsi le biologiste et physicien Nicolas Hartsoeker décrira en 1694 un petit homme, un embryon qui selon lui doit être présent à l'intérieur d’un spermatozoïde (voir schéma). D’autres observateurs jureront avoir observé cet embryon imaginé par Hartsoeker...

Il faudra attendre le milieu du 19éme siècle et la découverte de la «théorie cellulaire», qui affirme que les êtres vivants sont tous constitués de cellules (limitées par une membrane, contenant un cytoplasme et un noyau), pour que les spermatozoïdes soient considérés comme des cellules à part entière, jouant un rôle lors de la reproduction.

L’étude microscopique des spermatozoïdes montre effectivement qu’ils sont constitués des éléments typiques d’une cellule, même si le cytoplasme est concentré à l’avant de la cellule, l’arrière prenant la former d’une «queue», appelée flagelle, dont les mouvements permettent à la cellule de se déplacer dans un milieu liquide. Dans une éjaculation, les quelques ml de sperme produits contiennent entre 50 et 100 millions de spermatozoïdes, ce qui pose la question de leur production.



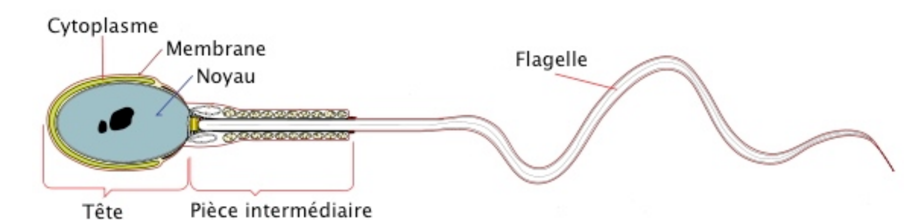


Un indispensable progrès technique

L’invention et le perfectionnement du microscope, dont les premiers (à gauche), construits par A.V. Leeuwenhoek (à droite), étaient en fait de puissantes loupes (et sont donc très différents des microscopes modernes), a permis de découvrir les spermatozoïdes. Dessin WB Carpenter, 1901, portrait J Verkoje, vers 1680.



Ci contre: *une représentation fantaisiste d’un spermatozoïde réalisée en 1694 par N. Hartsoeker: il suppose que chaque spermatozoïde doit contenir un petit bonhomme accroupi, les mains sur les genoux...*



Le spermatozoïde, cellule reproductrice mâle.

Les spermatozoïdes sont des cellules mobiles (dans les liquides). On peut presque les décrire comme étant des noyaux mobiles, car ils contiennent peu de cytoplasme. Ils sont nombreux et de petite taille. Schéma d’après wikimedia.

La production des spermatozoïdes est permanente

L’appareil reproducteur masculin peut être divisé en deux grandes parties. La première comprend les organes qui sont responsables de la production et du stockage des spermatozoïdes, la seconde les organes qui jouent un rôle dans la constitution et l’éjection du sperme au cours d’une stimulation sexuelle. Nous allons commencer par examiner la production des spermatozoïdes.

Où les spermatozoïdes sont-ils produits ?

Déterminer l’emplacement du lieu de production des spermatozoïdes demande avant tout de savoir ce que l’on s’attend à y trouver. S’agissant ici d’une sorte d’usine de production de cellules reproductrices, on pourrait espérer y observer des spermatozoïdes plus ou moins «achevés» (mûrs) en fonction du stade qu’ils ont atteint au cours de leur production. C’est exactement ce que l’on peut voir lorsque l’on place une coupe transversale de testicule (par exemple de rat) sous un microscope (voir photo). On observe alors que le testicule contient de grands tubes (vus en coupe sous forme d'anneaux) dont la paroi est formée de nombreuses cellules. Ces tubes sont appelés tubes séminifères. Parmi les cellules visibles depuis le bord du tube vers le centre de celui-ci figurent des spermatozoïdes en cours de formation, dont on ne reconnaît pas encore la forme typique. Au centre du tube (appelé «lumière» du tube), on trouve des cellules qui ressemblent bien plus à des spermatozoïdes, car elles possèdent un flagelle, même s’il n’est pas encore tout à fait fonctionnel. Ces observations montrent que **les spermatozoïdes sont produits dans les tubes séminifères des testicules**.

Où les spermatozoïdes sont-ils stockés avant le rapport sexuel ?

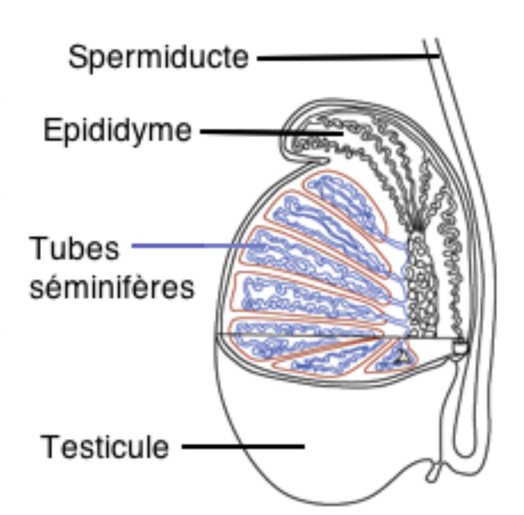
Les spermatozoïdes sont produits en permanence, de façon continue...mais ils ne sont pourtant émis que lors des éjaculations qui ne se produisent qu’après une excitation sexuelle. Cela suppose donc l’existence d’un stockage avant leur émission. C’est le rôle des épididymes (un par testicule), qui correspondent au départ des spermiductes, tuyaux transportant les spermatozoïdes. L’observation microscopique d’une coupe d’épididyme fait apparaître, elle aussi, de nombreux tubes où sont stockés les spermatozoïdes. C’est à cet endroit qu’ils terminent leur formation, notamment en devenant mobiles, car leur flagelle devient fonctionnel. Sur une coupe schématique de testicule, on constate que les tubes de l’épididyme où sont stockés les spermatozoïdes communiquent avec les tubes séminifères où les spermatozoïdes sont nés: il y a donc un transfert permanent des spermatozoïdes de la lumière des tubes séminifères vers les tubes de l’épididyme.

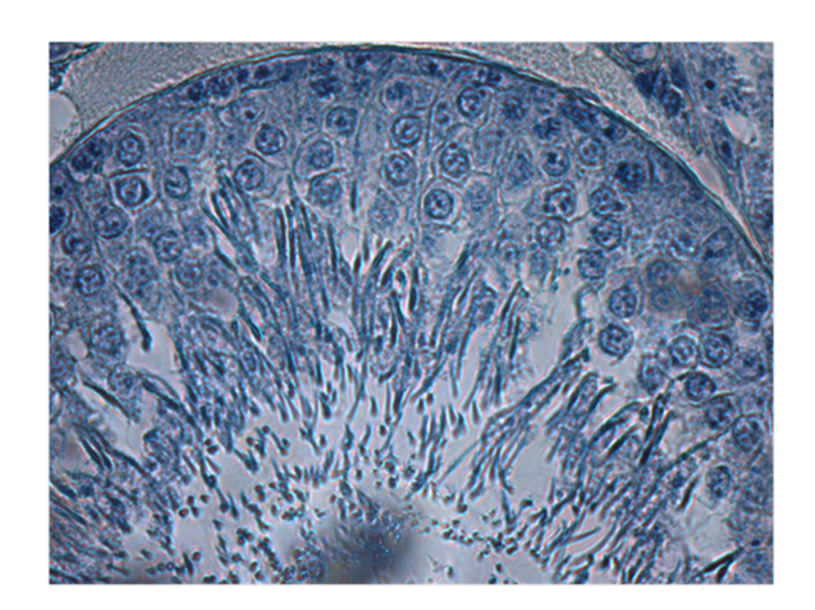
A quel rythme les spermatozoïdes sont-ils produits ?

Il faut compter entre 70 et 90 jours pour qu’un spermatozoïde provenant d’une cellule au bord d’un tube séminifère soit capable de jouer son rôle de cellule reproductrice. Cependant, de nouvelles cellules s’engagent en permanence dans le processus qui va les transformer en spermatozoïdes, si bien que la production des cellules reproductrices chez l’homme est abondante et continue. Cette production, débutant à la puberté, se poursuit tout au long de la vie, même si c’est entre 20 et 30 ans que la production des spermatozoïdes est la plus abondante chez l’homme. Ainsi, de nombreux exemples d’hommes devenus pères à un âge avancé sont connus (récemment, un Anglais de 71 ans est devenu père de jumeaux). La production de spermatozoïde se poursuit donc même chez les hommes âgés.

Structure du testicule.

Les testicules sont constitués de très longs tubes microscopiques dans lesquels se forment les spermatozoïdes. Ces tubes séminifères sont surmontés d’une zone de stockage, l’épididyme, et communiquent vers l’extérieur par un tuyau collecteur, le spermiducte.





Coupe d’un tube séminifère (X 400)

On distingue la moitié d’un tube séminifère, les cellules étant colorées en bleu. A la périphérie du tube, les cellules à l’origine des spermatozoïdes sont grandes et possèdent un noyau rond bien visible. À mesure que l’on se rapproche du centre du tube, les cellules se modifient pour finir par prendre l’aspect typique d’un spermatozoïde, reconnaissable à son flagelle, qui se détachera ensuite pour être remplacé par un autre... durant toute la vie. Photo RR.

Le trajet des cellules reproductrices et l'émission du sperme après une stimulation sexuelle.

Quel est le trajet des spermatozoïdes jusqu'à leur émission ?

Les spermatozoïdes sont stockés au niveau des épididymes. Lors d'une excitation sexuelle, ces cellules reproductrices vont tout d'abord s'engager dans les spermiductes et les remonter jusqu'à passer devant les vésicules séminales et la prostate.

Les spermiductes rejoignent alors l'urètre, qui parcourt le pénis. Lors de l'éjaculation, les spermatozoïdes sont éjectés de la partie terminale de l'urètre, qui débouche sur l'extérieur au niveau du gland.

L'urètre ne sert pas seulement à évacuer le sperme: l'examen du schéma de l'appareil reproducteur masculin montre que la vessie communique aussi avec l'urètre. Ainsi, l'urètre sert aussi, et bien plus souvent, à conduire l'urine. C'est pour cela qu'on le qualifie d'uro-spermiducte. Chez l'homme donc, l'urine et le sperme empruntent des voies communes pour la dernière partie du trajet.

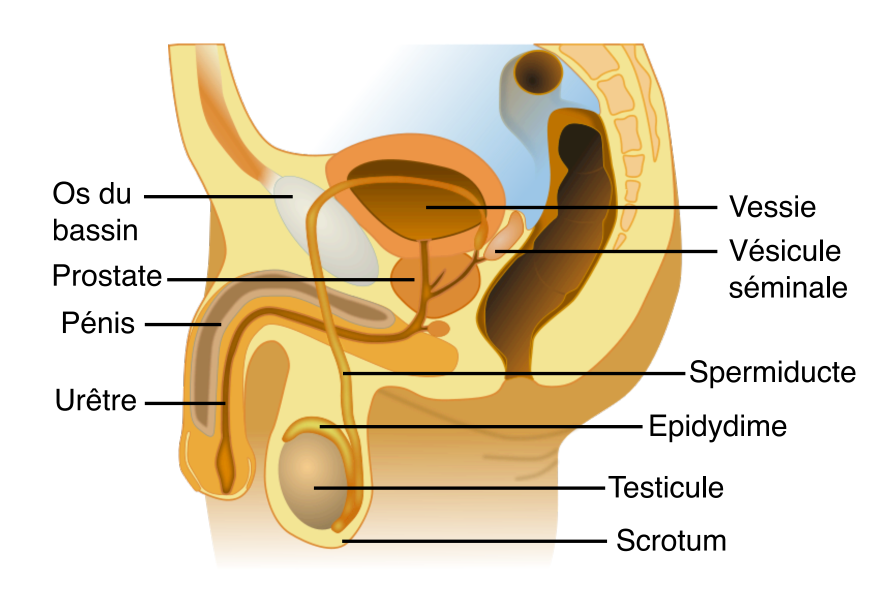
Quels sont les constituants du sperme et comment sont-ils assemblés ?

Le sperme à un liquide plus ou moins visqueux de couleur blanchâtre, dont quelques ml (entre 2 et 5) sont émis lors d'une éjaculation. Ce liquide est en réalité un mélange de plusieurs sécrétions produites par différents organes «branchés» sur le chemin des spermatozoïdes.

En premier lieu, le sperme contient un liquide produit par les vésicules séminales, premières glandes situées sur le trajet des spermatozoïdes vers l'urètre. Ce liquide séminal donne sa couleur au sperme et représente plus de la moitié de son volume. Il permet notamment de nourrir les spermatozoïdes, car il contient du fructose, un sucre.

Le second liquide qui constitue le sperme est le liquide prostatique, déversé dans le spermiducte par la prostate. Cette glande se situe derrière la vessie, juste en dessous de cette dernière. Le liquide prostatique donne sa consistance fluide au sperme et limite l'acidité de celui-ci, dangereuse pour les spermatozoïdes.

Enfin, les deux glandes de Cowper, situées sous la prostate, de chaque côté de l'urètre, produisent le liquide pré-éjaculatoire qui remplit l'urètre avant le passage du sperme, facilitant son passage. Ce liquide émis juste avant l'éjaculation peut déjà contenir quelques spermatozoïdes et provoquer, en l'absence de moyens de contraception, des grossesses non désirées.



L'appareil reproducteur masculin

Les spermatozoïdes, produits dans les testicules, sont stockés dans l'épididyme, puis passent dans les spermiductes, tuyaux qui contournent la vessie et rejoignent l'urètre sous cet organe. Des muscles ferment automatiquement le passage vers la vessie lorsque du sperme est propulsé vers l'extérieur. L'urètre, parcourant le pénis jusqu'au gland, est en effet, le plus souvent, dédié au transport de l'urine.

À RETENIR

L'appareil reproducteur masculin produit du sperme au moment de la puberté. Le sperme est un liquide qui contient les cellules reproductrices masculines, les spermatozoïdes. Ceux-ci sont produits de façon permanente au niveau des tubes séminifères des testicules.

La production cyclique des cellules reproductrices et l'origine des règles chez la femme.

Les représentations du sexe féminin sont nombreuses dès la préhistoire (voir photo), témoignant de la fascination des hommes pour la fonction de reproduction. Si l'œuvre d'art préhistorique est explicite, elle ne montre qu'une petite partie de la complexité de l'appareil reproducteur féminin. On ne peut y deviner le lieu de production des cellules reproductrices femelles, les ovules. On n'y perçoit pas non plus l'une des manifestations les plus visibles du fonctionnement de l'appareil reproducteur chez la femme, les règles. Les quelques pages qui suivent vont nous permettre d'étudier de façon plus complète l'anatomie et le fonctionnement de l'appareil reproducteur féminin.

Quelles sont les caractéristiques des cellules reproductrices féminines ?

Les cellules reproductrices féminines, les ovules, sont très différentes des spermatozoïdes. Leur observation au microscope nécessite un grossissement environ dix fois inférieur, les ovules étant beaucoup plus gros que les spermatozoïdes. On retrouve au niveau de l'ovule les éléments caractéristiques de toute cellule (membrane, cytoplasme, noyau). Le cytoplasme de l'ovule est très volumineux par rapport au noyau. Ce grand volume est à relier à l'importante quantité de réserves nutritives contenues dans le cytoplasme, qui serviront à nourrir l'embryon au cours des quelques jours qui suivront la fécondation.

Tout comme pour les spermatozoïdes, la découverte de la nature cellulaire des ovules est assez récente (milieu du 19e siècle). Avant cela, l'ovule, découvert dès 1667 chez un requin femelle, mais identifié chez les mammifères seulement en 1827 par K.E. Von Baer, était tantôt considéré comme un élément permettant de nourrir l'embryon apporté par le spermatozoïde (théorie «spermiste»), tantôt comme contenant un embryon déjà formé dont le spermatozoïde allait déclencher le développement (théorie «oviste»). Les partisans de ces deux théories, logiques à leur époque, se trompaient tous deux, comme nous le verrons.

Où et à quel rythme les ovules sont-ils produits ?

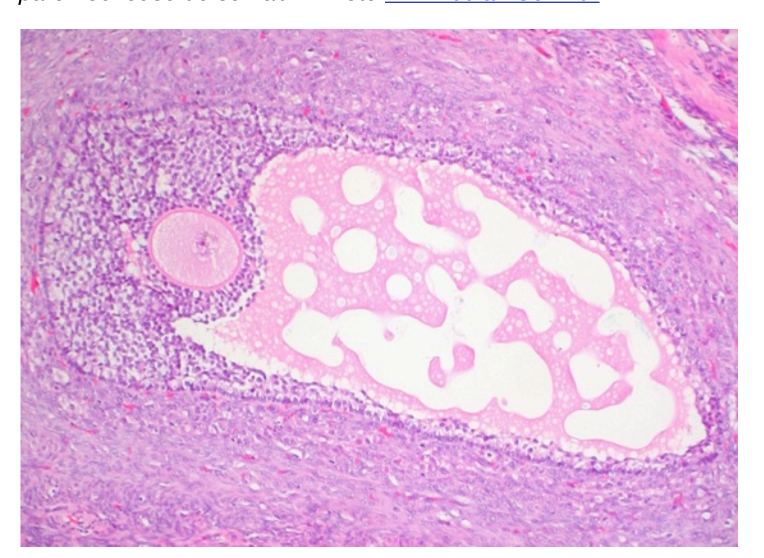
L'observation d'une coupe transversale d'ovaire montre la présence de plusieurs ovules de tailles différentes, les ovules étant bien plus gros et bien moins nombreux que les spermatozoïdes. Chacun de ces ovules est entouré d'un nombre variable de petites cellules formant un ensemble appelé follicule. Plus l'ovule situé au centre du follicule est grand, plus le follicule est grand et plus il contient de cellules. Lorsque l'ovule est très proche de sa taille finale, le follicule se creuse d'une cavité, on dit alors que le follicule est mûr. L'ovule qui se trouve en son centre est prêt à être émis hors de l'ovaire. Les ovaires sont donc les organes qui produisent les cellules reproductrices féminines.

Contrairement aux testicules, la production des ovules n'est pas continue: l'ovaire fonctionne par cycles d'environ 28 jours. Au cours de cette période, un seul ovule sera produit par l'un des deux ovaires seulement. La libération d'un ovule porte le nom d'ovulation. Cette libération ne s'accompagne d'aucun signe visible, et les femmes ne la ressente pas.



Un intérêt très ancien

Il y a 28 000 ans, dans une grotte de la vallée de la Dordogne, un homme préhistorique réalisa cette gravure d'un sexe féminin sur la paroi rocheuse de son abri. Photo [Wikimedia / Semhur]



Un ovule humain

L'ovule (ovale rose, à gauche) se développe, dans l'ovaire, à l'intérieur d'une structure complexe, le follicule. Ovaire coloré en rose et violet, grossissement x 100. Photo [FlickR / Euthman]

Quel est le trajet de l'ovule dans l'appareil reproducteur féminin après l'ovulation ?

Lorsque l'ovule est émis par l'ovaire au moment de l'ovulation, il se retrouve dans l'un des deux oviductes (ou trompes). Ces oviductes sont des tuyaux qui relient les deux ovaires à l'utérus, un muscle creux. Les oviductes sont tapissés de cils qui battent et vont progressivement pousser l'ovule, qui ne peut se déplacer seul, dans la direction de l'utérus. Ce trajet dure entre 1 et 2 jours. C'est pendant ce trajet qu'un spermatozoïde peut éventuellement rencontrer et féconder l'ovule. Le plus souvent, bien entendu, cela ne se produit pas, et l'ovule arrivé au niveau de l'utérus meurt et est tout simplement éliminé. L'ovule ne mesurant que 0,1 mm de diamètre, cette élimination passe inaperçue (et n'a rien à voir avec les règles).

Le fonctionnement cyclique des ovaires, qui ne produisent qu'un seul ovule tous les 28 jours environ, est souvent un obstacle pour un couple qui souhaite avoir un enfant. En effet, lors de chaque cycle, la fécondation ne peut se faire que pendant le trajet de l'ovule vers l'utérus. Un rapport sexuel menant à une grossesse peut avoir lieu un ou deux jours avant l'ovulation, car les spermatozoïdes peuvent rester vivants quelques jours à l'intérieur des oviductes, «attendant» l'ovule. Toutefois, cette période de fécondité ne dure que quelques jours par cycle. Chez la jeune fille, les cycles sont irréguliers, ce qui déplace cette période de fécondité de manière imprévisible: on ne peut donc pas s'en servir comme moyen de contraception fiable!

La production d'ovule se maintient pendant 30 à 40 ans. Ensuite, elle cesse graduellement: c'est la ménopause, qui est une nouvelle période de changements pour la femme.

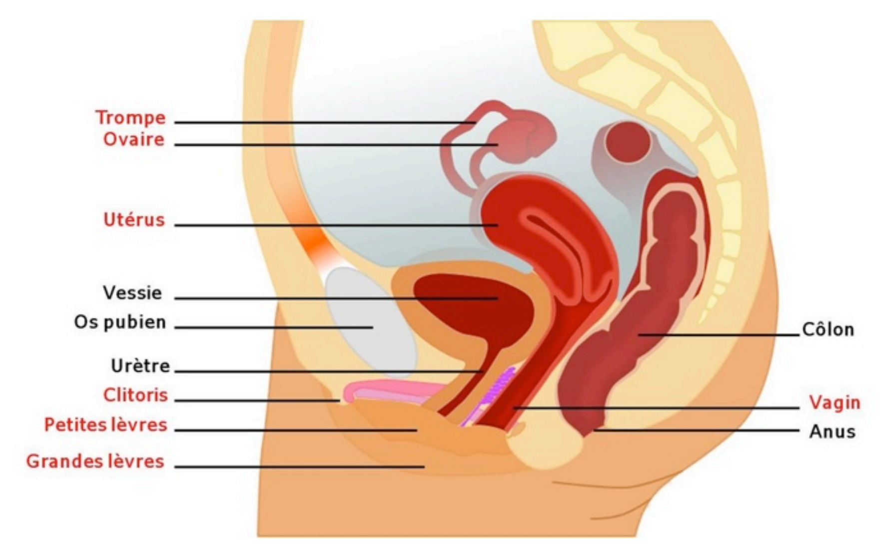
Comment le fonctionnement de l'ovaire est-il intégré à l'appareil reproducteur féminin ?

On peut considérer que l'appareil reproducteur féminin est composé de 3 parties remplissant des fonctions différentes. La première partie comprend les structures qui produisent et transportent les ovules: ce sont respectivement les ovaires et les oviductes.

La seconde partie de l'appareil reproducteur est constituée par l'utérus. Ce muscle creux sert essentiellement à abriter l'embryon pendant la grossesse. L'utérus communique avec les deux oviductes, mais aussi, dans sa partie basse, avec le vagin par un étroit conduit, le col de l'utérus.

Enfin, la dernière partie de l'appareil reproducteur joue un rôle essentiel pendant le rapport sexuel. Il s'agit du vagin et de la partie externe de l'appareil, la vulve. La vulve est constituée de l'entrée du vagin, tuyau souple fermé, qui chez la jeune fille vierge est le plus souvent plus ou moins occulté par une membrane percée de trous, l'hymen. Au dessus du vagin se trouve l'orifice urinaire. Ces deux orifices sont encadrés par des replis de peau, les petites lèvres, elles-mêmes comprises entre deux bourrelets, les grandes lèvres. Les petites lèvres se rejoignent vers l'avant en recouvrant un petit organe, le clitoris, une des sources principales du plaisir sexuel féminin.

Contrairement à ce que l'on peut voir chez l'homme, l'urètre ne joue aucun rôle dans l'appareil reproducteur féminin. Il ne sert qu'à évacuer l'urine qui est émise au niveau d'un orifice urinaire. Les fonctions urinaires et reproductrices sont donc entièrement séparées chez la femme.



L'appareil reproducteur féminin

Les ovules sont produits par les deux ovaires, organes situés de par et d'autre du muscle creux Utérus, avec lequel ils communiquent par des tuyaux, les oviductes, aussi appelés trompes. L'utérus est relié à l'extérieur par un conduit souple, le vagin (afin de bien le voir, on le représente toujours ouvert sur les différents schémas, mais dans la réalité le vagin est «fermé», épousant la forme de ce qui rentre à l'intérieur). Le Vagin débouche à l'extérieur au niveau d'un ensemble d'organes visibles, la vulve



Ovulation humaine.

Au cours d'une opération, l'équipe de chirurgiens du Dr Donnez a pu assister à l'ovulation: l'ovaire est la masse blanche, d'où dépasse un «bouton» rouge, le follicule. Ce dernier se perce et laisse échapper une «goutte» luisante qui n'est autre que l'ovule entouré d'autres cellules. L'ensemble du phénomène dure 15 minutes. Photos x 20. Avec l'aimable autorisation du Dr J. Donnez, de l'UCL.

Quelle est l'origine des règles ?

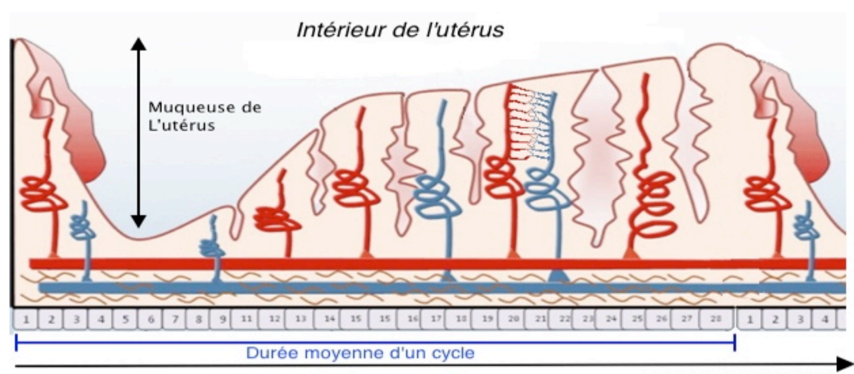
L'une des manifestations les plus significatives de la puberté chez la jeune fille est la survenue des règles (ou menstruations). En effet, entre 10 et 16 ans, l'adolescente va constater l'existence d'un écoulement irrégulier de sang au niveau du vagin. Ce phénomène s'accompagne souvent de douleurs au niveau du bas ventre et dure quelques jours. Il se reproduit tous les 28 jours environ.

L'analyse du contenu des écoulements menstruels montre qu'ils contiennent essentiellement du sang, des débris de paroi d'utérus ainsi que des bactéries provenant du vagin. La présence de ces fragments de paroi utérine suggère que les règles peuvent provenir de cet organe. Lorsque l'on observe au microscope une coupe transversale d'utérus (voir photo), on constate que la paroi de cet organe est constituée de plusieurs couches. De l'intérieur creux de l'organe vers l'extérieur, on trouve:

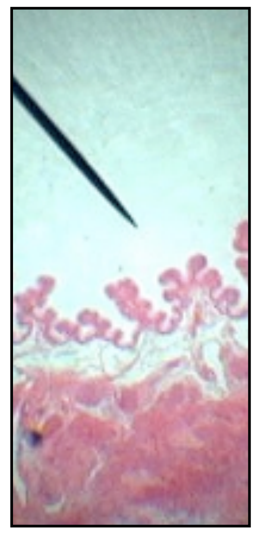
- la muqueuse utérine (voir photo), dont l'aspect change avec le temps
- une fine couche blanchâtre à la base de la muqueuse.
- une épaisse couche de cellules musculaires constituant le myomètre (du grec myo=muscle).

L'utérus est donc un muscle creux (capable donc de se contracter) dont l'intérieur est recouvert par une muqueuse d'épaisseur variable. Si l'on observe cette muqueuse utérine au cours du temps, on constate que juste après les règles, elle est très fine et contient peu de vaisseaux sanguins. Pendant les 14 jours qui suivent les règles, cette muqueuse s'épaissit et s'enrichit en vaisseaux sanguins. Les 10 jours suivants, la muqueuse se maintient dans cet état. Ensuite surviennent les règles, qui durent entre 4 et 6 jours, après lesquelles on constate que la muqueuse a quasiment disparu (voir photo).

Les règles sont donc provoquées par le décollement régulier (tous les 28 jours environ) de la muqueuse de l'utérus. Ce décollement s'accompagne de la rupture de nombreux petits vaisseaux sanguins, causant des saignements, et parfois de petites contractions de l'utérus à l'origine de douleurs. La muqueuse utérine subit donc une évolution cyclique: comme celui des ovaires, le cycle de l'utérus dure en moyenne 28 jours, même si, au début de la puberté, sa durée peut être très variable.

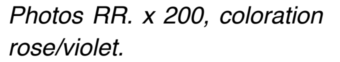


Évolution de la muqueuse de l'utérus pendant un cycle.
Les vaisseaux sanguins se développent et s'entortillent dans la muqueuse à mesure que cette dernière s'épaissit. En fin de cycle, la muqueuse se détache, les vaisseaux sanguins sont arrachés et des saignements se produisent: les règles sont le signe du renouvellement continuel de l'intérieur de l'utérus.

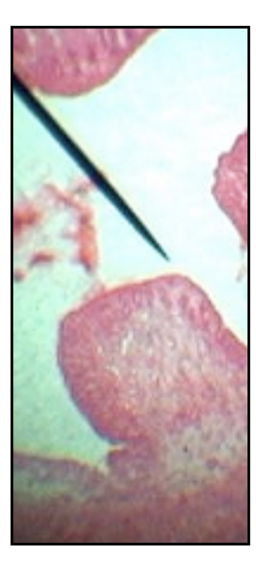


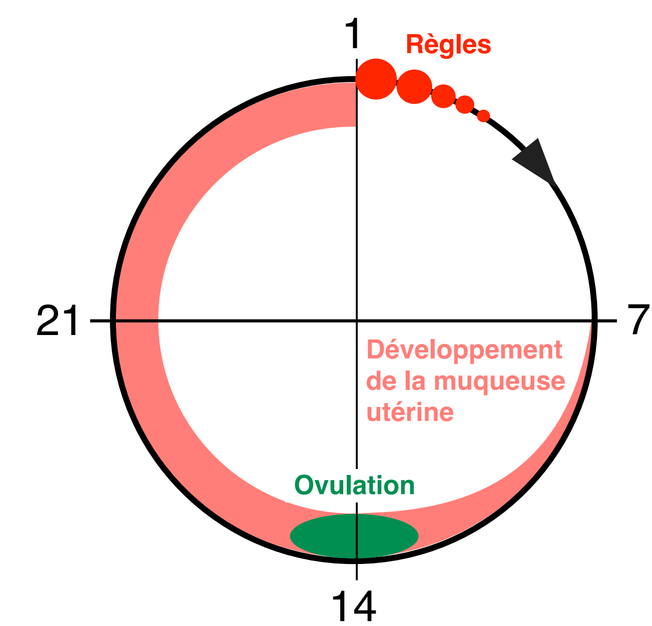
Aspect de la paroi de l'utérus avant et après les règles.

Avant les règles (à gauche) la muqueuse de l'utérus est épaisse, en forme de «dentelles» qui recouvrent une couche plus claire, puis les cellules de muscle. Après les règles (à droite) cette «dentelle» a disparu, la couche musculaire est à nu. L'aiguille noire est une partie du microscope.



Photos RR. x 200, coloration rose/violet.





Représentation schématique du cycle menstruel

Trois évènements marquent le déroulement du cycle, qui commence le premier jour des règles: le développement et la croissance de la muqueuse interne de l'utérus, l'ovulation, qui se produit autour du 14éme jour du cycle, et enfin l'autodestruction de la muqueuse, qui termine le cycle et provoque de nouvelles règles.

Y a-t-il un rapport entre les cycles ovariens et utérins ?

Les cycles ovariens et utérins ont une même durée (28 jours en moyenne). Pour comprendre la relation qui existe entre ces deux cycles, il faut réfléchir au rôle de ces deux organes lors de la reproduction sexuée.

L'ovaire produit les ovules de façon cyclique (un seul ovule pour deux ovaires par période d'environ 28 jours). Au moment de l'ovulation, la muqueuse utérine est épaisse et contient de nombreux vaisseaux sanguins. L'utérus est le lieu où l'embryon qui pourrait résulter d'une éventuelle fécondation va se fixer. L'épaisseur et l'importante vascularisation de la muqueuse utérine permettront d'assurer les premiers échanges entre l'embryon éventuel et sa mère. Il existe donc une relation importante entre les cycles ovariens et utérins qui fonctionnent selon un même rythme.

On peut toutefois se demander ce qui relie ces organes différents (l'ovaire et l'utérus) et leur permet de communiquer afin de fonctionner ensemble. En y réfléchissant, lors de la puberté, des organes très différents (os, muscles, peau, cerveau, organes sexuels....) subissent des modifications de façon plus ou moins coordonnée. Il nous faut donc, plus largement, nous interroger sur la façon dont communiquent des organes éloignés dans le corps.

Cette interrogation est ancienne: en 1856, le médecin C. Bernard avait découvert que lorsque le contenu acide de l'estomac passe dans le début de l'intestin grêle, le pancréas, organe voisin, mais distinct, se met à fabriquer une grande quantité d'un liquide permettant la digestion, le suc pancréatique (il est temps de réviser vos cours de cinquième). Qu'est-ce qui pouvait bien «informer» le pancréas de l'arrivée prochaine de nourriture à digérer ? Le Biologiste Pavlov pense qu'il existe un ou plusieurs nerfs entre intestin et pancréas, mais même en coupant tous les nerfs présents, on constate que cette communication intestin - pancréas se poursuit. Deux biologistes, E. Bayliss et E. Starling, ont alors l'idée que c'est l'intestin lui-même qui communique avec le pancréas en envoyant un «message» dans le sang. Ils prélèvent alors un morceau d'intestin venant de recevoir un contenu acide, en font une bouillie qu'ils filtrent, puis ils injectent le liquide obtenu dans une veine d'un animal (un chien) et constatent qu'après une minute environ, le pancréas de l'animal sécrète davantage de suc pancréatique: Bayliss et Starling ont montré qu'il existe un **messager chimique** qui circule dans le sang. Un de leurs collègues, W.T. Vesey, expert en poésie grecque, leur suggère d'appeler ces messagers chimiques d'après le verbe grec «ormao», signifiant «j'excite». Ainsi furent découvertes et baptisées ces substances «messagers chimiques», les **hormones**.

À RETENIR

L'appareil reproducteur féminin comprend les ovaires, qui produisent les ovules. Un ovule est émis par l'un des deux ovaires tous les 28 jours (ovulation). Les oviductes, où peut se produire la fécondation, conduisent l'ovule jusqu'à l'utérus. La muqueuse utérine évolue de façon cyclique et se décolle au début de chaque cycle menstruel, ce qui donne des saignements, les règles. L'utérus est relié à l'extérieur par un conduit souple, le vagin, qui débouche à l'extérieur à l'arrière de la vulve. Le fonctionnement cyclique de l'ovaire et de l'utérus cesse autour de 50 ans, c'est la ménopause.

Questions d'élèves

A quoi servent les poils qui poussent au niveau du pubis ?

On pense que le rôle de ces poils est de contrôler la transpiration et de protéger les muqueuses des parties génitales. Ils permettraient aussi de conserver une certaine humidité au niveau de ces zones. Toutefois, rien n'oblige un organe à être «utile». Parfois, c'est juste une trace de l'histoire de notre espèce.

Quelle est la taille moyenne du sexe masculin ?

Plusieurs études se sont intéressées à cette question et plusieurs milliers d'hommes ont ainsi accepté une mesure de leur sexe. Les résultats montrent qu'en moyenne, la taille d'un sexe en érection se situe entre 10 et 20 centimètres.

Comment le désir sexuel commande-t-il l'érection ?

Le désir est une sensation traitée par le cerveau, qui envoie des substances qui entraînent la dilatation des vaisseaux sanguins du pénis et qui donc gouverne le déclenchement de l'érection. Toutefois, cela ne se fait pas de façon volontaire, et l'érection n'est jamais garantie au bon moment...

J'ai entendu à la radio qu'une femme de 63 ans était tombée enceinte, comment est-ce possible ?

Cette grossesse tardive n'est pas «naturelle». Cette femme ménopausée a bénéficié d'un don d'ovule et d'un traitement médical qui lui a permis de mener à terme cette grossesse.

Est-ce que le premier rapport est toujours douloureux pour une fille ?

Non, ce n'est pas obligatoire, et souvent lié au stress d'une situation nouvelle. L'entrée du vagin est en partie fermée par une petite membrane que l'on appelle l'hymen, naturellement perforée, de façon à laisser s'écouler le sang des règles. Lors du premier rapport, elle est dans la plupart des cas déchirée par le pénis qui pénètre dans le vagin, ce qui peut provoquer une douleur et un petit saignement.

Jusqu'à quel âge une femme peut avoir des enfants ?

Tant qu'elle produit des ovules! La femme la plus âgée connue qui a mené à terme une grossesse «naturelle» avait 59 ans (C'était une Anglaise vivant sur l'île de Guernesey). Les grossesses naturelles (sans intervention médicale pour les favoriser), sont très rares au-delà de 50 ans, car la production d'ovules s'interrompt chez la femme autour de 45-50 ans. C'est cet arrêt du fonctionnement de l'ovaire que l'on appelle ménopause.

La ménopause, ça vient d'un coup ?

Non, généralement, la production d'ovule par les ovaires ne s'interrompt pas subitement, mais progressivement, et l'on constate que les cycles de fonctionnement ovariens sont de plus en plus irréguliers.

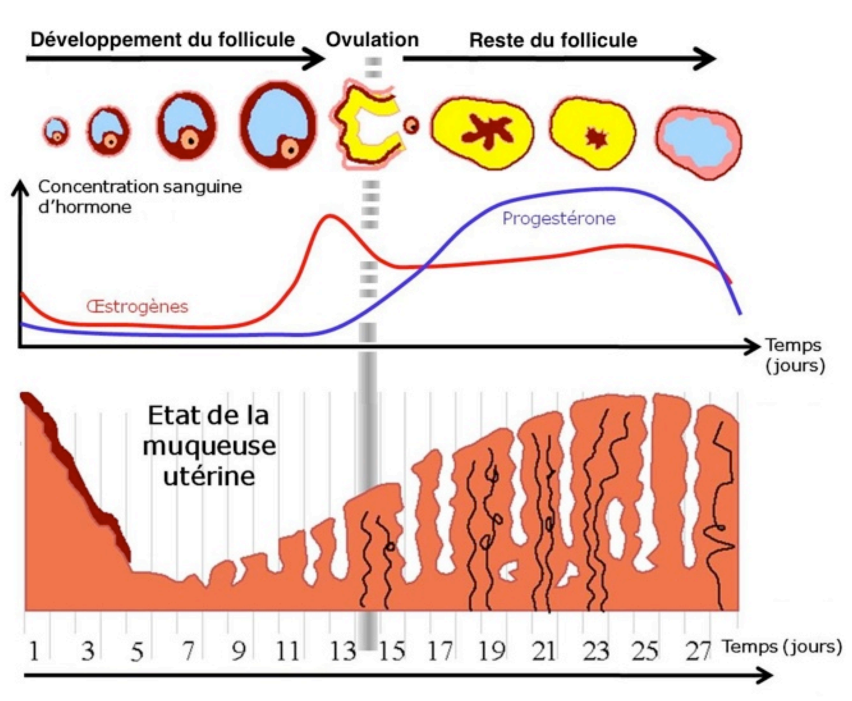
Des hormones contrôlent le fonctionnement cyclique de l'appareil reproducteur féminin.

Les ovaires ne font pas que libérer régulièrement des ovules: ils produisent aussi des hormones qui vont voyager dans le sang. Ces hormones sont les œstrogènes et la progestérone. La production de ces hormones n'est pas régulière au cours du cycle (voir schéma). Grossièrement, on constate que ces hormones sont surtout produites au cours de la seconde moitié du cycle. Toutefois, un examen plus attentif montre que les hormones oestrogènes sont produites en grande quantité avant l'ovulation. Si l'on compare la production d'hormones et l'état de l'intérieur de l'utérus, on constate que:

- la muqueuse de l'utérus s'épaissit lorsqu'il y a une augmentation de la production d'hormones ovariennes;
- lorsque la quantité d'hormone chute brutalement, juste avant la fin du cycle, la muqueuse s'autodétruit. Cette baisse de la production d'hormone déclenche donc les règles.

Ces correspondances pourraient n'être que des coïncidences, mais de nombreuses expériences et observations (voir exercices) ont montré qu'il s'agissait bien d'un rapport de cause à effet. Par exemple, dès 1927, L. Haberlandt a montré que s'il injectait des extraits d'ovaires de lapine à une lapine, celle-ci devenait stérile, ce qui montre que l'extrait d'ovaire contient une ou plusieurs substances qui influencent les organes reproducteurs de l'animal et qui sont transportables par le sang.

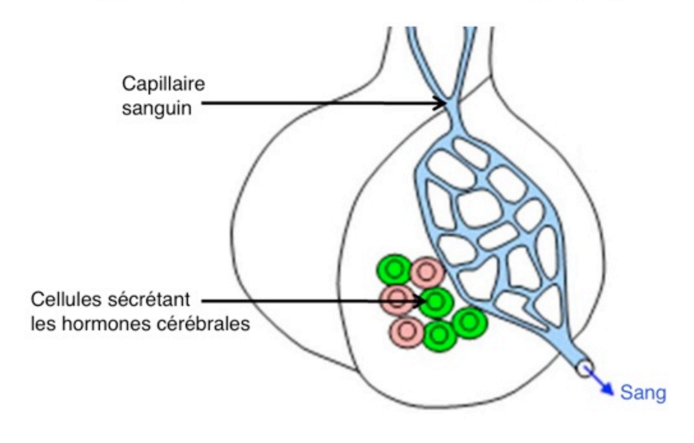
Les hormones ovariennes (œstrogènes et progestérone) déterminent donc l'état de l'intérieur de l'utérus.



Hormones et cycle menstruel

La variation de la production d'hormones par les ovaires peut être reliée à l'état de la muqueuse de l'utérus, qui se développe en présence d'hormones. L'évolution du follicule ayant produit l'ovule laisse penser que c'est lui qui, après l'ovulation, fabrique des hormones.

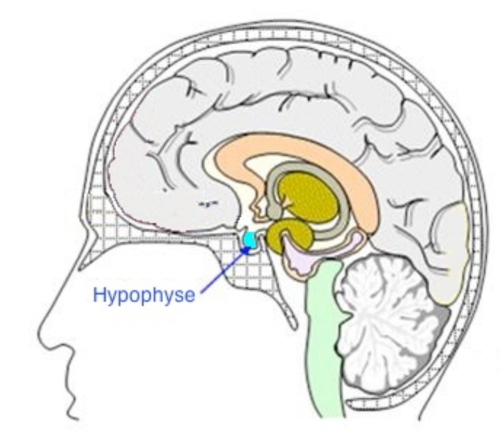
Schéma RR d'après [wikimedia/Chris73]



Mais qu'en est-il de l'autre évènement majeur du cycle, l'ovulation ? L'ovulation semble se produire juste après un «pic» de production d'hormone oestrogène, mais les choses ne sont pas si simples: d'autres hormones entrent en jeu, produites par un organe qui explique pourquoi les émotions d'une femme, son stress, son état mental peuvent perturber son cycle: le cerveau.

En effet, une partie du cerveau, l'hypophyse, contient des cellules qui produisent périodiquement des hormones qui vont déclencher l'ovulation. Ces hormones sont libérées dans le sang qui traverse cet organe (voir schéma de gauche) et se dispersent dans tout l'organisme. Toutefois, elles ne vont être actives que sur les ovaires. On dit alors que les ovaires sont **l'organe-cible** de l'hormone.

Le cycle menstruel est donc contrôle par des hormones d'origines cérébrale et ovarienne. Ces hormones agissent comme **des messages chimiques qui voyagent dans le sang et qui, dans ce cas, assurent une communication entre le cerveau, les ovaires et l'utérus**.



Situation de l'hypophyse

Cet organe de quelques mm et de moins d'un gramme se situe sous le cerveau. Il contient des cellules qui fabriquent et libèrent dans le sang de nombreuses hormones.

Schéma wikimedia/

Les transformations observées à la puberté sont déclenchées par des hormones

Tout comme les ovaires produisent des hormones (progestérones et oestrogènes), les testicules produisent aussi une hormone, la testostérone. Que ce soit chez la fille ou le garçon, la production de ces hormones augmente fortement pendant la puberté (voir graphes). De plus, les enfants souffrant d'une puberté précoce montrent également des taux d'hormone beaucoup plus élevés que la normale (voir tableau ci-contre).

Quantité moyenne d'hormones dans le sang	Enfants non pubères	Enfants précocement pubères
Oestrogènes (pg/ml)	**9**	**21**
Testostérone (pg/ml)	**250**	**2400**

Ces observations, ainsi que de nombreuses expériences (voir exercices) montrent que les hormones ovariennes et testiculaires sont à l'origine du développement des caractères sexuels secondaires.

Nous avons vu que la fabrication des hormones ovariennes était contrôlée par d'autres hormones provenant du cerveau. Quelques résultats d'expérience permettent de savoir s'il en est de même pour la production de testostérone:

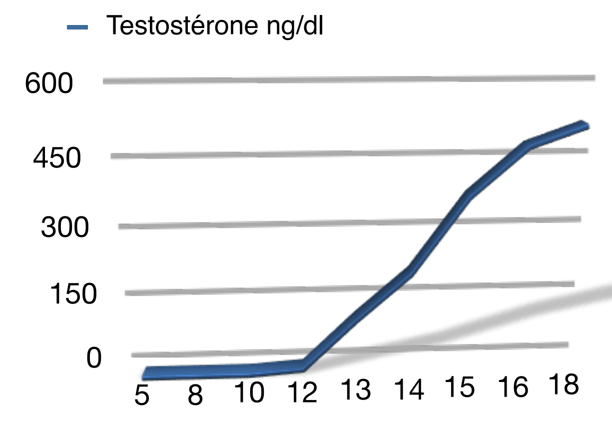
Expérience	**1** - Destruction de l'hypophyse	**2** - Injection d'extrait d'hypophyse à un animal sans hypophyse	**3** - Injection d'hormones cérébrales à un animal sans hypophyse
Résultat	Arrêt de la production de spermatozoïdes	Rétablissement de la production de spermatozoïdes	Rétablissement de la production de spermatozoïdes

L'expérience 1 montre que le fonctionnement du testicule dépend de la présence de l'hypophyse. L'expérience 2 s'interprète en proposant qu'il existe une ou plusieurs substances présentes dans l'extrait et qui rétablissent le fonctionnement des testicules. Ces substances étant transportés par le sang (l'extrait est injecté) ce sont sans doute des hormones, ce que confirme l'expérience 3.

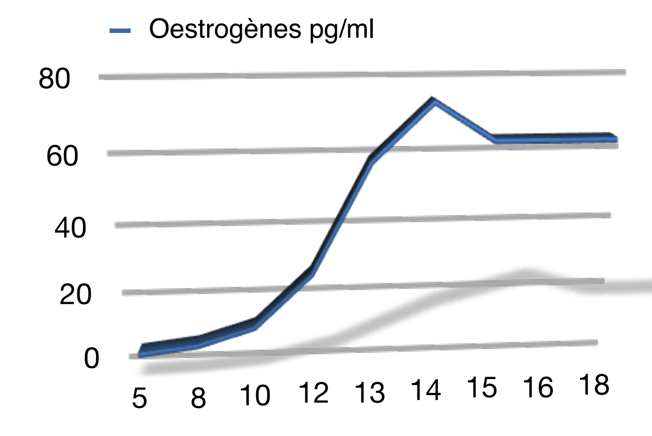
Non seulement la production de spermatozoïde est contrôlée par des hormones cérébrales, mais il en est de même pour la fabrication de la testostérone chez les garçons.

En fait, **la puberté est due à une augmentation progressive des concentrations sanguines de certaines hormones fabriquées par le cerveau**, qui est le véritable «chef d'orchestre» de la puberté. Les hormones cérébrales déclenchent le développement des testicules et des ovaires. **Testicules et ovaires libèrent à leur tour des hormones qui déclenchent l'apparition des caractères sexuels secondaires**.

Testostèrone en fonction de l'âge



Oestrogènes en fonction de l'âge



Production d'hormones et puberté

Dans les deux sexes, la production d'hormones «sexuelles» commence à augmenter juste avant le début de la puberté, puis de plus en plus: en 10 ans, la quantité de testostérone produite a été multipliée par 400 chez le garçon alors que la production d'Oestrogènes est multipliée par 50 chez la fille. Ces hormones vont provoquer des modifications de plusieurs organes, étant ainsi à l'origine des caractères sexuels secondaires.

Schémas RR.

Organe producteur d'hormones:
le cerveau (l'hypophyse)

Hypophyse

Hormones Cérébrales

Chez la Femme

Chez l'Homme

circulation sanguine

Organes producteurs d'hormones: **Ovaires**

Organe cible: Ovaires

Organe cible: Testicules

Organes producteurs d'hormone : **Testicules**

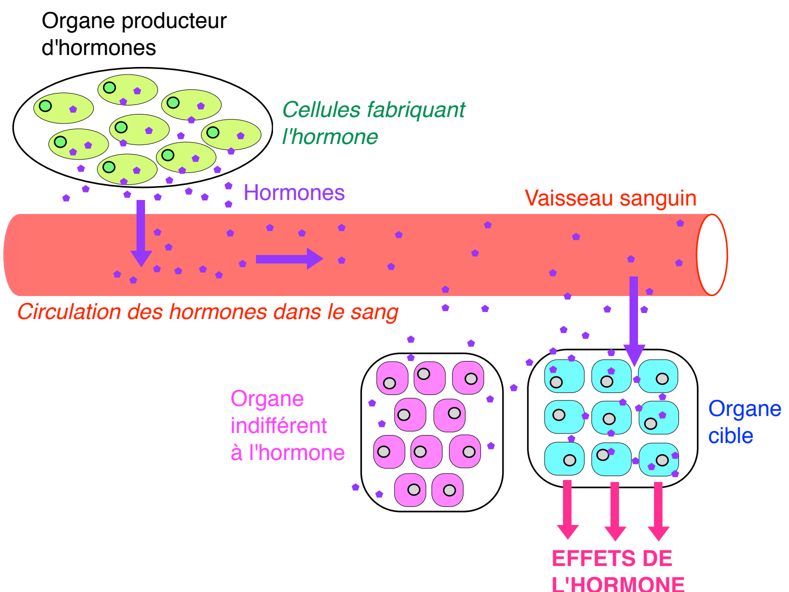
Réponse:
Production de cellules reproductrices
Production d'hormones sexuelles

Oestrogènes

Testostérone

Réponse: développement des caractères sexuels secondaires

Au début de la puberté, une partie du cerveau libère dans le sang des hormones dont les organes cibles sont les testicules ou les ovaires. En réponse aux hormones cérébrales, ces organes vont se mettre à produire des cellules reproductrices (spermatozoïdes ou ovules) ainsi que des hormones qui, à leur tour, vont provoquer le développement des caractères sexuels secondaires. Schéma RR.



Action des hormones

Les hormones produites par les cellules d'un organe sont libérées dans le sang qui les disperse et les transporte dans tous l'organisme. Les organes «cibles», sensibles à cette hormone, modifient leur fonctionnement (croissance, fabrication de nouvelles substances...) lorsqu'ils sont atteints par l'hormone. Schéma RR.

À RETENIR

À la puberté, des hormones, substances jouant le rôle de messagers chimiques, sont produites par le cerveau. Elles provoquent le développement des testicules et des ovaires, qui se mettent à produire des cellules reproductrices et des hormones. Les cellules reproductrices des hommes, les spermatozoïdes, sont produits en permanence alors que la production d'ovule est cyclique, sous contrôle d'hormones ovariennes dont la disparition périodique provoque les règles.

Les hormones testostérone et oestrogènes vont provoquer, respectivement chez les garçons et les filles, le développement des caractères sexuels secondaires.

QUESTIONS DE COURS

1/ Qu'est-ce qu'une cellule reproductrice ?

2/ Quelles sont les modifications de comportement provoquées par la puberté ?

3/ Qu'appelle-t-on caractère sexuel secondaire ?

4/ Pourquoi l'urètre de l'homme est-il un uro-spermiducte?

5/ Qu'est-ce que le cycle menstruel ?

6/ A quel endroit les ovules sont-ils libérés ? A quel rythme ?

7/ Quels sont les changements qui touchent l'utérus pendant un cycle ?

8/ A quel moment se produit l'ovulation ?

9/ Qu'est-ce qu'une hormone ?

10/ Qu'est-ce qu'une muqueuse ?

COLLES

1/ Construisez un schéma légendé simplifié de l'appareil génital masculin.

2/ Réalisez un tableau comparant les différences entre homme et femme au niveau des cellules reproductrices, de leur production, de leur origine, des voies qu'elles empruntent et des hormones mises en jeu.

3/ L'ovule est considérablement plus grand que les spermatozoïdes. Pourquoi les cellules reproductrices ne sont-elles pas de la même taille, puisque toutes deux sont des cellules ? Exposez vos hypothèses de façon logique.

4/ Pendant leurs règles, certaines jeunes filles ressentent des douleurs et sont particulièrement fatiguées, ensuite, pendant quelques jours. Comment pourriez-vous essayer d'expliquer l'origine de ces désagréments ?

5/ Une jeune fille a des rapports sexuels le 12^{éme} jour de son cycle. Son ovulation se produit le 14^{éme} jour. Peut-elle tomber enceinte ? (expliquez votre raisonnement)

EXERCICES

<u>1 - Sangs mêlés (4 pts)</u>

Vers l'an -500, le philosophe grec Parménide, un des «pères» des sciences, écrivit au sujet de l'origine des «semences» à l'origine des enfants, au cours de la reproduction humaine: «*Quand la femme et l'homme ensemble mêlent les semences de l'amour issues de leurs veines, une puissance formatrice façonne, à partir de sangs contraires, des corps bien constitués.*»

11 - A quel mot moderne, que Parménide ne pouvait pas connaître, pouvez vous identifier les «semences» dont parlait ce philosophe ? (2 pts)

12 - A partir de vos connaissances, indiquez ce qui aurait pu faire penser à Parménide que les «semences» des humains avaient un rapport avec le sang. (2 pts)

<u>2 - Un rôle pour les femmes (2 pts)</u>

Vers - 300, le médecin Hérophile d'Alexandrie, en réalisant des dissections, découvre l'existence des ovaires (à qui il donne un autre nom). A la suite de cette découverte, plusieurs médecins de l'antiquité, dont le plus célèbre, Galien, considèrent que les femmes produisent bien un genre de «semence». Pourquoi la découverte des ovaires renforce-t-elle cette opinion ?

<u>3 - Moonlight (2 pts)</u>

On a longtemps cru, en Europe, que les phases de la lune étaient liées au cycle menstruel. Cette croyance est même à l'origine du mot «lunatique», qui signifie d'humeur changeante, et qui se rapporterait aux variations de l'humeur des femmes au cours de leur cycle.

Pour quelle raison a-t-on pu croire qu'il existait un lien entre les phases de la lune et le cycle menstruel ?

<u>4- Le sens des mots, le choc des ados</u>

Le mot puberté vient du latin pubere, qui signifie «se couvrir de poils». Quant au mot «adolescence», il vient du latin adolescere qui signifie «pousser, se fortifier, grandir».

41 - En quoi l'origine de ces deux termes est elle particulièrement appropriée à la période qu'ils décrivent ? (2 pts)

42 - Le mythe du loup Garou a été interprété comme une représentation des changements liés à la puberté. En y réfléchissant, expliquez donc pourquoi.(3 pts)

5 - Un vieux mystère

Vers 1573, le médecin Volcher Coiter découvre que dans les ovaires, il existe des petites «bulles» qui sont ouvertes sur l'extérieur par une déchirure. Coiter pense qu'il existe une «semence» liquide femelle qui a dû sortir de ces «poches», mais il se demande où elle a pu passer. Observant à l'oeil nu, il pense à un passage par les trompes (les oviductes), mais il ne voit pas ce passage qui aurait pu conduire la fameuse «semence féminine» dans l'Utérus.

51 - A quoi correspondent les «ouvertures», les cicatrices que Coiter a observées à la surface de l'ovaire ? (3 pts)

52 - Pour quelles raisons n'a t'il pas pu trouver de passage entre ovaire et utérus ? (4 pts)

6 - Infertilité masculine (4pts)

Après 3 ans d'essais infructueux, un couple désireux d'avoir un enfant consulte pour tenter de comprendre les raisons de cet échec. Madame a déjà eu un enfant d'un autre mariage alors que Monsieur n'a jamais été père. Des examens chez Madame ne montrent aucun dysfonctionnement de l'appareil reproducteur. Lors des rapports sexuels, le pénis de Monsieur entre en érection et la stimulation conduit à l'éjaculation. On établit donc le spermogramme (analyse du sperme) de Monsieur dont voici les résultats.

Spermatozoïdes	Ejaculat normal	Ejaculat de Monsieur
Nombre (millions/ ml)	50-180	Absence
Mobilité	80% à l'émission, 60% après 4h	Néant
Aspect	60 à 80 % de formes normales	Néant

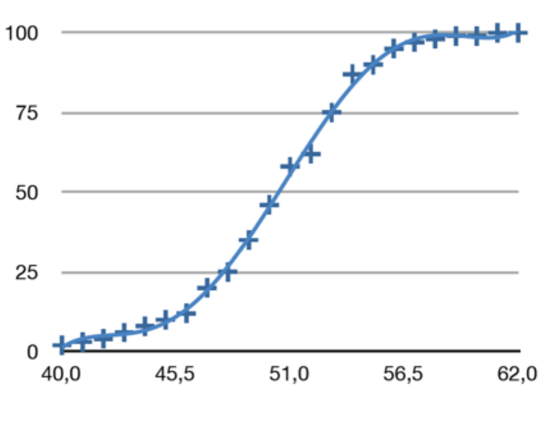
61 Donnez deux arguments (avant la réalisation du spermogramme) qui suggèrent que la raison de l'échec rencontré par ce couple soit liée à l'infertilité de Monsieur. (1 pts)

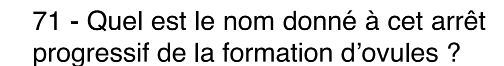
62 Comment les résultats du spermogramme permettent-ils de confirmer cette hypothèse ? (1 pts)

63 En reconsidérant l'anatomie de l'appareil reproducteur masculin, proposez deux hypothèses pour expliquer l'absence de spermatozoïdes dans le sperme de Monsieur. (2 pts)

7 - Tout a une fin (4 pts)

Le graphique ci-contre décrit l'évolution du % de femmes ne produisant plus d'ovules en fonction de leur âge.





71 - Quel est le nom donné à cet arrêt progressif de la formation d'ovules ?

72 - Rédigez un bref commentaire décrivant les informations apportées par ce graphique.

8 - Aphone

De nombreux chanteurs ayant commencé leur carrière très tôt, avant 15 ans le plus souvent, affrontent rapidement un problème: comme le dit J.B., chanteur canadien, «*Ma voix craque. […] il y a certaines notes […] que je n'arrive plus à atteindre. Du coup, il faut changer de tonalité.*»

81 Quel est le phénomène à l'origine de cette modification de la voix ? (1 pts)

82 Qu'est-ce qui provoque ce changement ? Est-ce un caractère sexuel secondaire (expliquer votre réponse) ? (4 pts)

83 Au Moyen-Age et à la Renaissance, les médecins avaient découvert qu'il existait un moyen simple (mais douloureux) de conserver aux jeunes garçons leur voix d'enfant. En y réfléchissant, vous allez trouver comment ils s'y prenaient et pourquoi leur «traitement» définitif était efficace... (4 pts)

9 - Élevés en liberté (6 pts)

Vers l'an -160, à Rome, le sénateur romain Caius Fannius Strabon, dans le but de faire économiser le grain qui servait à l'alimentation des pauvres, fait voter une loi qui interdit la consommation de viande de poule. Les éleveurs de volaille contournent alors la loi: ils découvrent que des coqs castrés, appelés chapons, grossissent rapidement, ce qui économise le grain. Ils observent aussi que les chapons ne développent pas de crête, ni de plumes colorées au niveau de la queue, ni la musculature des coqs. Par contre, leur chair est excellente.

91 Expliquez donc l'origine des différences entre un coq et un chapon. (4 pts)

92 Si on greffe à un Chapon un morceau de testicule de coq, tous les caractères d'un coq (Crête, plumes, musculature....) apparaissent progressivement. Expliquez pourquoi. (2 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ Une cellule reproductrice est une cellule participant au processus de reproduction d'un être vivant, c'est-à-dire, pour les humains, un spermatozoïde ou un ovule.

2/ La puberté provoque les modifications de comportement suivantes:

- agressivité
- sensation de mal-être
- intérêt pour les plaisirs sexuels
- développement de la personnalité

3/ Un caractère sexuel secondaire est un caractère spécifique à un sexe, mais qui n'est pas un organe sexuel.

4/ L'urètre de l'homme est un uro-spermiducte car il peut conduire soit de l'urine, soit du sperme.

5/ Le cycle menstruel est le cycle de fonctionnement de l'appareil reproducteur féminin, particulièrement celui de l'ensemble ovaires/utérus. Ce cycle est marqué par les règles, le développement de la muqueuse utérine et l'ovulation. Il dure environ 28 jours.

6/ Les ovules sont libérés à l'entrée de l'oviducte, au rythme d'un par cycle de 28 jours environ.

7/ Pendant un cycle, l'utérus commence par perdre son revêtement interne, la muqueuse, qui se détache en lambeaux, provoquant les règles. Ensuite, cette muqueuse va de nouveau se développer, et va rester en place tant que les hormones féminines seront présentes en quantité suffisante dans le sang. A la fin du cycle, la quantité d'hormones chute et, de nouveau, la muqueuse est éliminée... Et un nouveau cycle commence...

8/ L'ovulation se produit au 14éme jour du cycle, à un moment qui correspond à un maximum de production d'hormones cérébrales.

9/ Une hormone est une substance produite par un organe, libérée dans le sang, qui la disperse et la transporte, et qui provoque un ou plusieurs effets au niveau des organes sensibles à cette hormone, et que l'on appelle des organes cibles.

10/ Une muqueuse est une fine couche de cellules qui recouvre l'intérieur des organes creux (utérus, intestin, bouche...).

COLLES

1/ Schéma légendé simplifié de l'appareil génital masculin.

2/

Sexe	Femme	Homme
Cellules reproductrices	Ovules	Spermatozoïdes
Production	Cyclique	continue
Origine	Ovaires	Testicules
Voies empruntées	Oviductes	Spermiducte, urètre
Hormones	Oestrogènes, Progestérone	Testostérone

3/ L'ovule est considérablement plus grand que les spermatozoïdes, et il est assez facile de comprendre pourquoi: les spermatozoïdes sont des cellules mobiles, ils doivent effectuer un long voyage (par rapport à leur taille) dans l'appareil génital féminin. L'ovule, lui, n'est pas mobile: il «tombe» dans l'oviducte puis est poussé vers l'utérus par l'oviducte lui même. Pour pouvoir être rapide, le spermatozoïde doit être «léger», donc de petite taille. l'ovule n'a pas cette contrainte.
Il y a une seconde raison à cette différence de taille: les spermatozoïdes sont produits en très grand nombre, et tout le temps: ils représentent pour l'organisme un «investissement» en énergie qui serait bien plus élevé s'ils étaient plus gros (et donc plus longs à se développer, donc moins nombreux, donc moins efficaces...). L'ovule, par contre, il n'y en a qu'un tous les 28 jours: cette cellule peut donc être de grande taille sans conséquence.
Il y a une troisième raison à cette différence, mais vous ne pouviez pas la connaître: l'ovule contient des réserves nutritives pour que l'embryon puisse commencer à se développer avant de s'accrocher dans l'utérus de sa mère (voir chapitre suivant).

4/ Pendant les règles, la muqueuse de l'intérieur de l'utérus se détache de son support musculaire. Il y a des pertes de sang qui se produisent. Si ces pertes sont importantes, elles créent une fatigue (le temps que la quantité de sang manquante soit fabriquée). Les douleurs proviennent de l'utérus qui réagit au détachement de sa muqueuse, mais elles sont ressenties un peu partout dans le ventre.

5/ La jeune fille peut être enceinte, car même si elle a eu un rapport sexuel le 12éme jour de son cycle et qu'elle ovule deux jours plus tard (le 14éme jour), les spermatozoïdes peuvent rester en vie quelques jours à l'intérieur de ses voies génitales (utérus et oviductes). Certains peuvent donc être encore vivant lorsque l'ovule se présentera, permettant ainsi le déclenchement d'une grossesse.

EXERCICES

1 - Sangs mêlés (4 pts)

11 - Les «semences» dont parlait Parménide ne sont autres que les cellules reproductrices (ovules et spermatozoïdes).

12 - Parménide se base sur des observations. Il constate que, régulièrement, il sort du sang des organes reproducteurs féminins. Il voit aussi que pour se reproduire, l'homme utilise un liquide, le sperme. Il peut penser que c'est «une sorte de sang», car c'est le sang qui est le liquide le plus présent dans l'organisme. De plus, pour Parménide (et tous ceux de son époque, et pour longtemps) le sang est le symbole même de la vie: si un homme perd son sang, il meurt. Ce sont ces observations qui ont pu faire penser à Parménide que les «semences» des humains avaient un rapport avec le sang.

2 - Un rôle pour les femmes (2 pts)

La découverte des ovaires renforce, pour les médecins de l'antiquité, l'opinion selon laquelle les femmes fabriquent une sorte de «semence» car les deux ovaires correspondent aux deux testicules de l'homme: comme la «semence» masculine est liée aux testicules et que la femme possède elle aussi des organes qui ressemblent aux testicules, ces anciens médecins en déduisent que la femme, elle aussi, doit fabriquer grâce à ses ovaires une sorte de «semence».

3 - Moonlight (2 pts)

La raison pour laquelle on a pu croire qu'il existait un lien entre les phases de la lune au cycle menstruel est que la durée d'un cycle (28 jours) est très proche de la durée d'un cycle lunaire (29 jours). Ainsi, si une femme avait ses règles à la pleine lune, par exemple, ses règles revenaient à la pleine lune suivante (les règles revenaient lorsque la lune avait le même aspect qu'au cours des règles précédentes).

4- Le sens des mots, le choc des ados

41 - L'origine de ces deux termes est particulièrement appropriée à la période qu'ils décrivent car ils font référence à deux événements typiques de l'adolescence, période de la puberté: la poussée de croissance des individus («*adolescere*») et la pousse des poils («*pubere*»).

42 - Le mythe du loup Garou peut être interprété comme une représentation des changements liés à la puberté, car on y voit un homme se couvrir brusquement de poils, devenir beaucoup plus fort et robuste, agressif... et «bête»... Autrement dit, un condensé des transformations qui frappent les jeunes garçons lors de la puberté !

5 - Un vieux mystère

Vers 1573, le médecin Volcher Coiter découvre que dans les ovaires, il existe des petites «bulles» qui sont ouvertes sur l'extérieur par une déchirure. Coiter pense qu'il existe une «semence» liquide femelle qui a du sortir de ces «poches», mais ils e demande où elle a pu passer. Observant à l'oeil nu, il pense à un passage par les trompes (les oviductes), mais il ne voit pas ce passage qui aurait pu conduire la fameuse «semence féminine» dans l'Utérus.

51 - Les «ouvertures», les cicatrices que Coiter a observées à la surface de l'ovaire sont les marques laissées par les ovules qui sont sortis de l'ovaire au cours de l'ovulation.

52 - Coiter n'a pas pu trouver de passage entre ovaire et utérus car il ne pouvait pas voir que les trompes (les oviductes) sont creuses: l'ovule ne mesurant qu'un dixième de mm, l'entrée du passage dans les trompes n'est pas visible à l'oeil nu.

6 - Infertilité masculine (4pts)

61 Deux arguments qui suggèrent que la raison de l'échec rencontré par ce couple est liée à l'infertilité de Monsieur:

- la femme a déjà eu des enfants, elle n'est donc pas stérile (ou ne l'était pas)
- plusieurs examens confirment que tout va bien pour la femme. Le problème ne peut donc provenir que de «monsieur»...

62 Les résultats du spermogramme permettent de confirmer cette hypothèse, car ils montrent que le sperme de monsieur ne contient pas de spermatozoïdes. Sans ces derniers, une fécondation est impossible, et il ne peut y avoir de grossesse.

63 Deux hypothèses expliquant l'absence de spermatozoïdes dans le sperme:

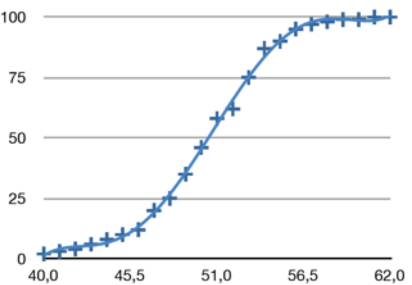
- les testicules ne produisent pas de spermatozoïdes
- les testicules fabriquent des spermatozoïdes mais les spermiductes sont bouchés, ou endommagés, ou incomplets, et les spermatozoïdes ne peuvent atteindre l'extérieur.

7 - Tout a une fin (4 pts)

Évolution du % de femmes ne produisant plus d'ovules en fonction de leur âge.

71 - Le nom donné à cet arrêt progressif de la formation d'ovules est la ménopause.

72 - Commentaire décrivant les information
On doit remarquer en premier lieu le plu
d'ovule ne se produit pas au même âge pou
On constate que le nombre de fem
progressivement et régulièrement entre 40
l'âge de 51 ans, la majorité des femmes
peuvent donc plus avoir d'enfants.



8 - Aphone

81 Le phénomène à l'origine de cette modification de la voix est la mue.

82 Ce changement est provoqué par la testostérone, hormone produite à la puberté par les testicules. Ce changement de tonalité de la voix, qui devient plus grave, est caractéristique d'un sexe, mais n'est pas une modification des organes sexuels eux-mêmes; c'est donc bien un caractère sexuel secondaire.

83 La mue est déclenchée par une hormone produite par les testicules. Si l'on désire empêcher cette mue, la solution consiste à enlever les testicules avant la puberté. Cette opération (une castration), effectuée «à vif» avant la puberté, permettait de conserver aux jeunes garçons leur voix d'enfant. Les chanteurs que l'on obtenait étaient appelés des castrats.

Le grand écrivain français Voltaire se moqua de cet usage dans son «Dialogue du chapon et de la poularde», écrit en 1763, dont voici un extrait (qui de plus vous aide pour l'exercice suivant!):

LE CHAPON. Eh, mon Dieu! ma poule, te voilà bien triste, qu'as-tu?
LA POULARDE. Mon cher ami, demande-moi plutôt ce que je n'ai plus. Une maudite servante m'a prise sur ses genoux, m'a plongé une longue aiguille dans le cul, a saisi ma matrice, l'a roulée autour de l'aiguille, l'a arrachée et l'a donnée à manger à son chat. Me voilà incapable de recevoir les faveurs du chantre du jour, et de pondre.
LE CHAPON. Hélas! ma bonne, j'ai perdu plus que vous; ils m'ont fait une opération doublement cruelle: ni vous ni moi n'aurons plus de consolation dans ce monde; ils vous ont fait poularde, et moi chapon. La seule idée qui adoucit mon état déplorable, c'est que j'entendis ces jours passés, près de mon poulailler, raisonner deux abbés italiens à qui on avait fait le même outrage afin qu'ils pussent chanter devant le pape avec une voix plus claire.

9 - Élevés en liberté (6 pts)

91 L'origine des différences entre un coq et un chapon est l'absence de testicules, donc d'hormone testostérone (sans testicules, le coq ne développe pas ses caractères sexuels secondaires).

92 Si on greffe à un Chapon un morceau de testicule de coq, ce morceau va produire la testostérone. Cette hormone va voyager dans le sang de l'animal et va modifier le fonctionnement de ses organes cibles (crête, muscles, plumes...): ces derniers vont alors se transformer, comme ils l'auraient fait s'ils avaient reçu plus tôt de la testostérone. Ils vont donc progressivement prendre l'aspect qu'ils ont chez un coq normal, puisqu'ils reçoivent normalement l'hormone à l'origine de ces changements.

Glossaire

La puberté - extrait -Edvard Munch, 1894.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Acné: maladie de la peau qui se manifeste par de nombreux boutons rouges.

Adolescence : âge de la vie situé entre l'enfance et l'âge adulte.

Age nubile : âge légal du mariage.

Anonyme: qui ne donne pas son identité, son nom.

Archipel: ensemble d'îles

Caractère sexuel primaire: partie de l'appareil reproducteur.

Caractère sexuel secondaire: trait qui permet de distinguer les individus de sexes différents, mais qui n'est pas un organe sexuel.

Clitoris: partie du sexe féminin située au sommet des petites lèvres. Il joue un rôle important dans l'excitation sexuelle chez la femme.

Cycle menstruel : période de 28 jours pendant laquelle la paroi de l'utérus est dégradée puis se développe à nouveau, et où se produit l'ovulation.

Désagrément : Quelque chose de désagréable.

Ejaculation : Expulsion du sperme hors du sexe masculin. Elle a lieu pendant l'orgasme masculin.

Epididyme : zone de stockage des spermatozoïdes située au-dessus du testicule

Flagelle : Partie allongée du spermatozoïde qui lui permet de se déplacer dans un milieu liquide

Follicule: ensemble de cellules regroupant l'ovule et ses cellules nourricières. Un follicule a plusieurs stades de maturation.

Gamète: cellule reproductrice.

Génital: qui concerne les organes sexuels, ou plus largement la reproduction.

Hormone: substance fabriquée par un organe, libérée dans le sang et qui agit sur le fonctionnement d'un organe-cible

Hypophyse : organe producteur d'hormones faisant partie du cerveau et situé au-dessous de celui-ci.

Lubrifier: rendre glissant avec une matière grasse

Maturation: fait de mûrir, de se développer.

Ménopause: arrêt du fonctionnement cyclique de l'appareil reproducteur féminin par épuisement du stock d'ovules.

Muqueuse: couche de cellules, en général peu épaisse, qui recouvre l'intérieur d'un organe creux, comme l'utérus, par exemple.

Orgasme: moment où le plaisir sexuel atteint son maximum

Ovulation : émission d'un ovule fécondable par l'un des deux ovaires au milieu d'un cycle menstruel

Ovocyte : synonyme d'ovule

Ovule: gamète femelle

Philosophe: Dans l'Antiquité, premiers hommes à avoir créé et développé l'attitude scientifique, en essayant d'expliquer le monde par l'observation et la réflexion, sans faire appel à des causes surnaturelles.

Puberté: période pendant laquelle un individu devient capable de se reproduire.

Pubien: qui concerne le pubis, c'est-à-dire la zone située au sommet des organes sexuels.

Règles: saignements évacués par le vagin, survenant au début de chaque cycle menstruel et résultant d'une destruction partielle de la paroi utérine.

Spermatogenèse: production de spermatozoïdes

Spermatozoïde: gamète mâle

Sperme: liquide contenant les spermatozoïdes

Spermiductes: tuyaux amenant les spermatozoïdes des testicules jusqu'à l'urètre

Trompe: conduit dans lequel circule l'ovule après l'ovulation. C'est l'oviducte (on le nomme aussi ainsi à cause de sa forme).

Tube séminifère: partie du testicule où sont produits les spermatozoïdes

Utérus : muscle creux situé entre le vagin et les oviductes, et où l'embryon se développe chez les mammifères.

Visqueux: qui coule avec difficulté.

Illustrations...

Pandora- extrait -J.J. Lefebvre, 1862.

Poème

A l'âge de 16 ans, le poète français Arthur Rimbaud a écrit «Première soirée», dont voici un extrait (il le publiera en 1870 dans le recueil Cahiers de Douai).

Assise sur ma grande chaise,
Mi-nue, elle joignait les mains.
Sur le plancher frissonnaient d'aise
Ses petits pieds si fins, si fins.

Je regardai, couleur de cire,
Un petit rayon buissonnier
Papillonner dans son sourire
Et sur son sein, - mouche au rosier.

Je baisai ses fines chevilles.
Elle eut un doux rire brutal
Qui s'égrenait en claires trilles,
Un joli rire de cristal.

Les petits pieds sous la chemise
Se sauvèrent : " Veux-tu finir ! "
- La première audace permise,
Le rire feignait de punir !

Pauvrets palpitants sous ma lèvre,
Je baisai doucement ses yeux :
- Elle jeta sa tête mièvre
En arrière : " Oh ! c'est encor mieux !...

Monsieur, j'ai deux mots à te dire... "
- Je lui jetai le reste au sein
Dans un baiser, qui la fit rire
D'un bon rire qui voulait bien...

Idées de lecture

Les trucs de Titeuf: le guide du zizi sexuel, de H Bruller et ZEP, ed. Glénat

Un roman «classique»: **Claudine à l'école,** de Colette, paru en 1900...

Une sélection de romans établie par Mme Berger, bibliothécaire du collège Rose Valland:

- **Catastrophe !** Christine Nostlinger, 1994, ed l'école des loisirs. Le journal intime de Julia, 14 ans.
- **Adieu mes douze ans**, Betty Miles, 1994, ed. pocket
- **Dieu est une femme: l'année de mes quatorze ans**. Ariane Fornia, ed. Denoël, 2004.
- **J'ai 14 ans et je suis détestable**. Gudule, ed. Flammarion, 2000.
- **La vie en gros.** Olivier Mikaël, ed. Thierry Magnier, 2001.

Idées de films

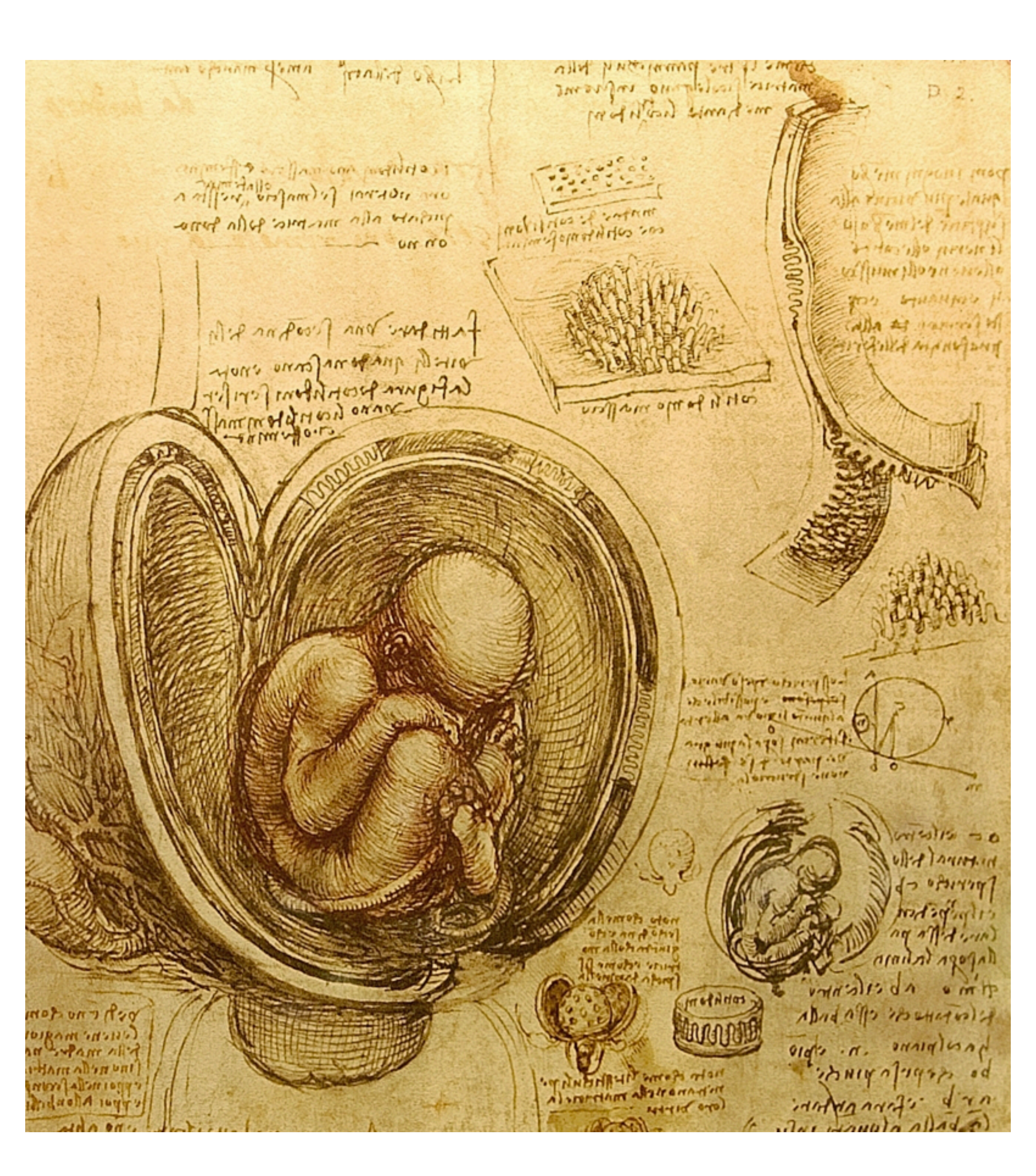
Naissance des pieuvres, C. Sciamma, 2007
L'année de l'éveil, G. Corbiau, 1991
Juno, J. Reitman, 2007
Bienvenue dans l'âge ingrat, T Solondz, 1995
A ma soeur, C. Breillat, 2001
Ils mourront tous sauf moi, V G Germanika, 2008
Et toi, t'es sur qui ? L. Doillon, 2007
La vie ne me fait pas peur, N. Lvovsky 1999
Lost and delirious, L. Pool, 2006
Elephant, G Van Sant, 2003

Et deux «classiques», si vous voulez savoir comment les choses se passaient à l'époque de vos parents et grands-parents :

- La boum, C. Pinoteau, 1980
- Diabolo menthe, D. Kurys, 1977

Un chef-d'oeuvre, mais qui décrit la situation dans les années 1950, aux USA (la situation était très différente en France à l'époque) : La fureur de vivre, N. Ray, 1955.

De la fécondation à la naissance :
9 mois pour un nouvel être humain



La naissance marque le premier jour de la vie d'un enfant. Au cours des 9 mois précédents, il s'est construit petit à petit. Comment l'ovule et le spermatozoïde qui fusionnent pour former la première cellule se rencontrent-ils ? Quelles sont les étapes qui aboutissent à la formation du nouvel enfant ? Quels échanges avec la mère permettent sa croissance ? Enfin, comment est-il mis au monde ? Vous apprendrez, au cours de ce chapitre, la « vraie » réponse à la question « Dis, comment on fait les bébés ?»

SOMMAIRE

Ci-contre: à la Renaissance, les mystères de la grossesse ont motivé les études du grand artiste et scientifique Leonard de Vinci, comme en atteste cette étude tirée de ses recherches. Photo Wikimedia - Luc Viatour / www.Lucnix.be

La sexualité humaine, au-delà de la biologie.



À votre âge, vous avez très probablement déjà été amoureux, même secrètement, de quelqu'un. Vous savez donc que chez l'être humain la sexualité ne se limite pas à la reproduction, et aux rapports sexuels. C'est aussi ce désir de partager la présence d'un ou d'une autre, cette envie d'être avec lui, la joie de le revoir, la peine d'en être séparé... Vous savez aussi que ces désirs et ces sentiments, quel que soit leur durée, peuvent déboucher sur des gestes amoureux tels les caresses et baisers, sans pour autant que les organes sexuels soient directement impliqués. *Chez les humains, les plaisirs de l'amour sont avant tout intellectuels avant d'être physiques.* C'est pour cela, d'ailleurs, qu'ils ne se limitent pas aux rapports sexuels, ce qui est souvent difficile à comprendre pour certains adolescents de votre âge, qui n'ont parfois comme référence que quelques films où s'enchaînent des "prouesses" physiques dignes de la plus grande science-fiction! Dans ce chapitre, nous allons examiner le déroulement d'un rapport sexuel, puis d'une grossesse, sous un angle purement "biologique", mais vous ne devez pas oublier que cette dimension "mécanique" et chimique ne résume pas la sexualité humaine: elle n'en constitue que la base biologique.

Ci-contre : Plaisirs simples nés de la rencontre d'une femme et d'un homme, et des désirs qu'ils partagent.
Photo François de Nodrest «Pantchoa»/FlickR

Né de la rencontre d'un homme et d'une femme

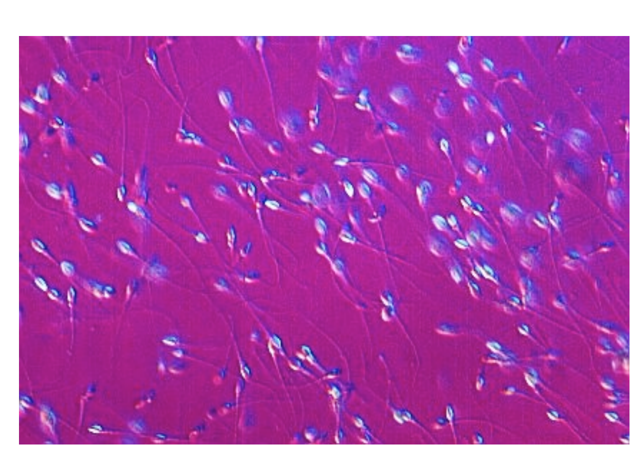
Au point de départ de la conception d'un enfant, il y a tout d'abord, le plus souvent, la rencontre d'une femme et d'un homme, deux individus qui s'apprécient, se désirent au point d'envisager d'essayer de créer un projet commun, une vie commune, une famille. Bien entendu, des grossesses non désirées sont possibles, mais nous verrons qu'à notre époque il existe quantité de moyens accessibles et efficaces, basés sur la connaissance des mécanismes de la reproduction, afin de les éviter.

Prenons donc le cas d'un couple qui désire un enfant. La rencontre de cet homme et de cette femme débouchant sur un désir mutuel, leurs échanges vont aboutir à créer les conditions d'un rapport sexuel. Que se passe-t-il alors au niveau de leurs organes sexuels ?

- Chez la femme, l'intérieur du vagin fabrique un liquide facilitant la pénétration alors qu'un afflux de sang rend la vulve plus sensible. Un petit organe extrêmement sensible, le clitoris, placé au point de rencontre antérieur des petites lèvres (voir chapitre précédent), gonfle alors légèrement, devenant la source de sensations agréables.

- Chez l'homme, un afflux de sang rend le pénis plus grand et rigide, c'est l'érection.

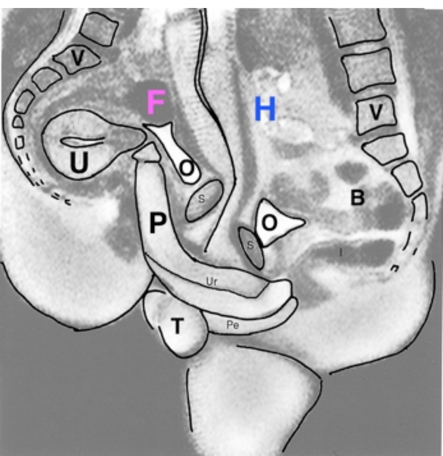
Les mouvements et les caresses des deux partenaires aboutissent chez l'homme à l'éjaculation et chez la femme à des contractions du vagin, les deux partenaires ressentant alors un plaisir intense.



L'éjaculation dépose plusieurs centaines de millions de spermatozoïdes à l'entrée de l'utérus. Pour eux, l'aventure commence; un voyage dans l'appareil génital féminin où, parfois, ils pourront rencontrer un ovule et réaliser la fécondation, point de départ d'un nouvel individu.

Une centaine de spermatozoïdes humains est visible sur cette microphotographie (photographie prise au microscope). Lors d'une éjaculation, ils sont un million de fois plus nombreux à s'élancer vers l'utérus et les oviductes. Un seul, peut-être, participera à la fécondation, avec un ovule. Photo Wikimedia.





Cette image exceptionnelle a été réalisée au cours d'un rapport sexuel, dans un appareil d'imagerie médicale. La femme (F) est à gauche et l'homme (H) à droite. On constate que le pénis (P), pleinement engagé dans le vagin, se déforme et atteint l'entrée de l'utérus (U) où les spermatozoïdes seront libérés lors de l'éjaculation. O: os du bassin, T: testicules.
Documents Schultz W W et al. BMJ 1999; 319: 1596 - 1600 - British Medical Journal

La fécondation, rencontre de deux cellules reproductrices

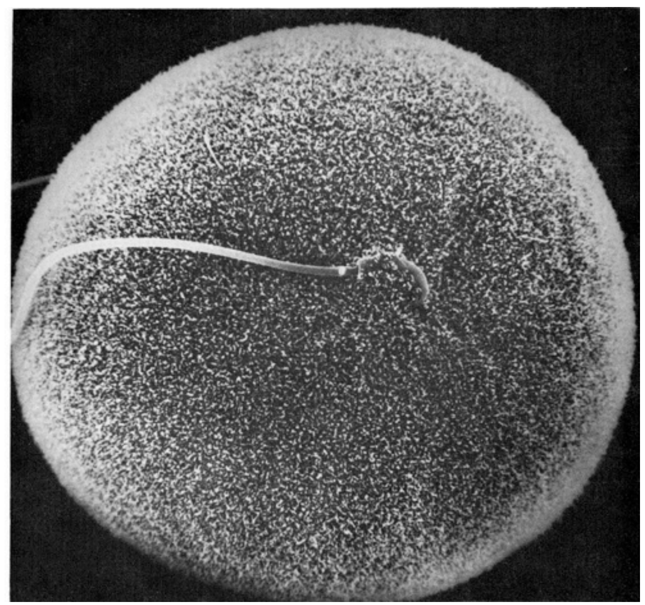
Confrontés à des situations qu'ils redoutent ou ne comprennent pas, les humains créent des rituels, des superstitions afin d'avoir l'impression de contrôler un peu des évènements aussi redoutés que la mort, mais aussi la naissance. En effet, avant le développement de la médecine et de l'hygiène, les accouchements entrainaient fréquemment le décès de la mère et/ou de l'enfant. Ainsi, pour connaître le sexe d'un enfant à naître, des papyrus de l'Égypte antique proposaient *«que la femme arrose de son urine l'orge et le froment (…). Si l'un des deux germe, elle enfantera. Si c'est l'orge, ce sera un garçon, si c'est le froment, ce sera une fille.»* À notre époque encore, de nombreux conseils, tout aussi farfelus, existent !



Les mystères de la reproduction occupent l'esprit des femmes et des hommes dès la préhistoire: environ 200 figurines préhistoriques de femmes ont été découvertes, des «Vénus» aux seins, fesses et parties génitales exagérées. Elles étaient sans doute des symboles de fertilité et d'abondance. Ainsi, la Vénus de Willendorf (ci-contre) est une statuette en calcaire de 11 cm sculptée il y a 23 000 ans et découverte en 1908. (Musée d'histoire naturelle de Vienne, Autriche). Photo Don Hitchcock/ Wikimedia

En parallèle à ces nombreuses croyances, les hommes ont également voulu expliquer la fécondation, mais ce n'est qu'à la fin du XIXe siècle que le mystère a été résolu. Deux siècles auparavant, en 1677, Leeuwenhoek, un des inventeurs du microscope, révèle qu'en ayant observé du sperme de plusieurs animaux différents, il y a toujours trouvé « *des animaux spermatiques, des animalcules, longs, menus et sans membres*». Il propose que ces animalcules soient à l'origine des embryons, la femme n'étant qu'une «enveloppe» nécessaire à son développement. Cette théorie, partagée par d'autres, vaut à ces biologistes le nom *d'animalculistes*. D'autres biologistes pensent au contraire que seul l'ovule est à l'origine de la reproduction. Ce sont les *ovistes*. Cette controverse durera jusqu'en 1876, lorsque les rôles des deux gamètes seront clairement établis par O. Hertwigg chez l'oursin. Il montre que **la fécondation résulte de la rencontre d'un des spermatozoïdes et de l'ovule.**

Pour qu'il y ait fécondation chez les humains, il faut qu'un spermatozoïde survive au long parcours du vagin jusqu'à l'extrémité de l'oviducte (aussi appelé trompe de Fallope), puis qu'il trouve l'ovule et soit celui qui y entre. Pour cela, il faut qu'un ovule ait été libéré, et donc que le rapport sexuel ait lieu au bon moment du cycle féminin, à savoir de quelques jours avant l'ovulation jusqu'au lendemain de l'ovulation (les spermatozoïdes survivent quelques jours, l'ovule un seul).

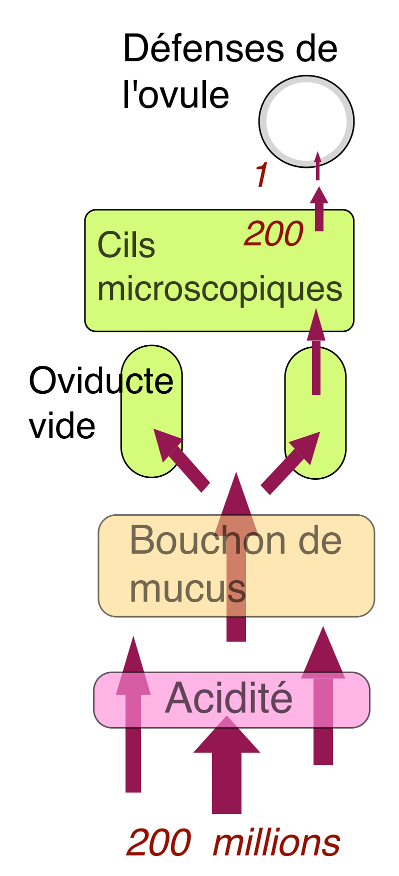


***Fécondation**. Un spermatozoïde est en train de traverser les défenses de l'ovule en s'enfonçant sans ses couches supérieures. Son noyau sera libéré dans l'ovule alors que son flagelle se séparera du reste de son corps. Photo Don W. Fawcett & David Phillips - ASCB.*

Les spermatozoïdes : une longue course d'obstacles.

Après un rapport sexuel, 300 à 400 millions de spermatozoïdes sont présents au fond du vagin. Une course de plusieurs heures pour atteindre un éventuel ovule commence alors pour eux. Durant ce parcours, tous vont mourir, sauf un, s'il y a fécondation. Les spermatozoïdes avancent en agitant leur flagelle. Ils nagent sur les parois humides du vagin, de l'utérus et des trompes.

Il leur faut tout d'abord survivre à l'acidité du vagin. Ils doivent ensuite traverser le mucus recouvrant le col de l'utérus, ce qui leur prend de 10 minutes à 2 heures. Un «long» trajet à travers l'utérus les conduit à l'un des oviductes, qu'ils doivent alors remonter à contre-courant. Les oviductes sont tapissés de cils qui ondulent dans le sens inverse de la progression des spermatozoïdes. Au bout de l'une des trompes, une centaine de spermatozoïdes survivants peut rencontrer l'ovule. Ils ont alors parcouru en quelques heures quelques cm, ce qui, par rapport à leur taille, correspondrait à un parcours de 250 Km environ pour un humain...



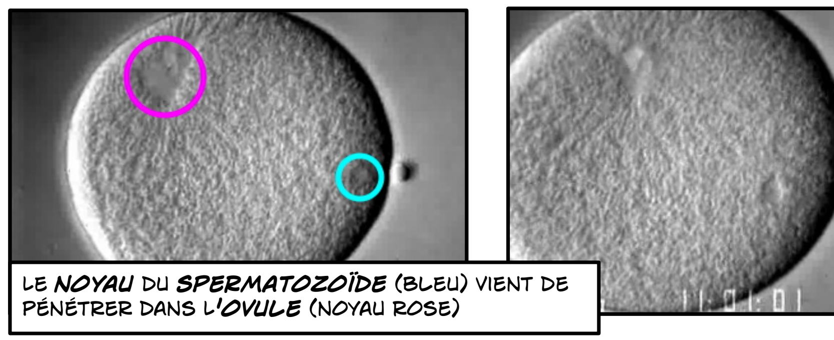
La course aura duré plusieurs heures pour des millions de spermatozoïdes (*voir, ci-contre à G., les différents obstacles rencontrés qui déciment l'armée des spermatozoïdes jusqu'à ne laisser que quelques centaines de ces derniers arriver jusqu'à l'ovule, qu'un seul réussira peut-être à pénétrer pour réaliser la fécondation - schéma RR*). Ce parcours du combattant sélectionne les spermatozoïdes les plus résistants, assurant ainsi plus de chance de survie à l'embryon. Mais un autre facteur est essentiel pour le spermatozoïde «vainqueur»: le hasard. Les spermatozoïdes qui se perdent en chemin, ceux qui se dirigent vers la «mauvaise» trompe, celle qui ne contient pas d'ovule, et ceux qui ne parviennent pas à percer les protections de l'ovule en premier ne laisseront aucune trace.

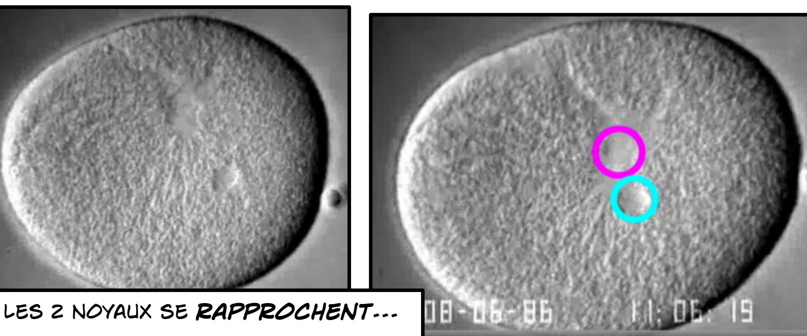
Quelques spermatozoïdes seulement arrivent à franchir les deux enveloppes qui entourent l'ovule et atteignent sa membrane. **Un seul pénètre dans l'ovule**, car dès qu'il a franchi cette membrane, elle s'épaissit et bloque l'accès aux autres spermatozoïdes. Enfin, le spermatozoïde «vainqueur» libère son noyau, qui va s'unir à celui de l'ovule. De cette union va naître une cellule, la première de l'être à venir : la **cellule œuf** (*voir ci-contre, à D.*)

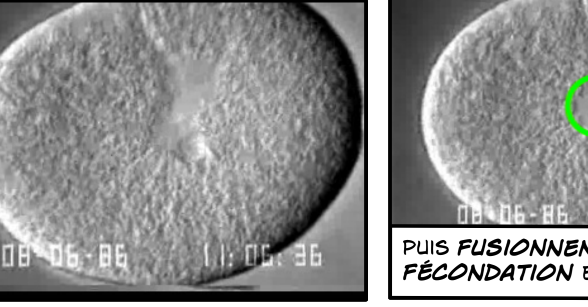
Un rendez-vous à ne pas manquer

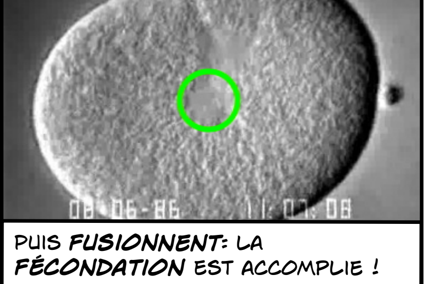
L'homme fabrique des spermatozoïdes en continu. Par contre, la femme ne fabrique qu'un ovule par cycle. Celui-ci ayant une durée de vie de 12 à 24 h, la fécondation ne peut avoir lieu n'importe quand. Les spermatozoïdes peuvent survivre quelques jours dans les trompes, et donc attendre l'ovule pour le féconder si celui-ci ne tarde pas trop ! Par conséquent, une femme est fertile seulement 5 jours environ par cycle.

À RETENIR: La fécondation résulte de la fusion d'un spermatozoïde et d'un ovule dans l'un des oviductes. Pour arriver à l'ovule, les spermatozoïdes doivent franchir de nombreux obstacles dans l'appareil génital féminin.









Fusion des noyaux lors de la fécondation*. Après qu'un spermatozoïde ait réussi à traverser les défenses de l'ovule et à atteindre son cytoplasme, il ne faut que quelques minutes pour que son noyau et celui de l'ovule fusionnent, créant ainsi une cellule-oeuf à l'origine d'un nouvel individu. Doc RR à partir d'une video de l'ASCB. -* Shinya Inoue

Le déroulement de la grossesse

La fusion des gamètes signe le début d'une aventure qui va durer neuf mois et conduire à la formation d'un être humain à partir d'une cellule, la cellule-œuf. Cette cellule va commencer à se diviser un jour environ après la fécondation. Les divisions vont alors se succéder pour conduire à la formation d'une sphère de 4, 8, 16, puis 32 cellules identiques: un embryon.

Pendant 3 jours environ, cette boule de cellules en formation descend lentement vers l'utérus. Elle est poussée par les cils de l'oviducte, cet embryon atteint l'utérus sous la forme d'une sphère de 16 cellules. Au 6e jour, l'embryon se coince sur un repli de la paroi de l'utérus et va s'accrocher fermement à cette paroi, qu'il pénètre en partie en fabriquant de petits «tentacules» qui lui servent de crampons: c'est **la nidation**.

L'embryon va former une enveloppe dans laquelle il va commencer à se développer. Cette enveloppe deviendra la «poche», ou **sac amniotique**, dans lequel **l'embryon** va se développer, alors que la partie qui «ancre» l'embryon dans l'utérus deviendra l'organe qui va régler les échanges entre la mère et l'enfant, et que l'on appelle le **placenta**. Nous étudierons plus loin les rôles de ces différents organes typiques de la grossesse, et fabriqués à partir de cellules de l'embryon.

Ci-dessous : tableau des principaux évènements se produisant au cours de la grossesse.

Trimestre	Âge de l'embryon	Taille (cm)	masse (g)	Évènements
1	20 jours	0,5	0,2	Le coeur bat, la circulation se met en place
	50 j.	3	2	Les os commencent à se former; les membres sont de simples petites bosses.
	60 j.	10	20	Coeur, foie, poumons, tube digestif sont en place. L'embryon a une forme humaine: on l'appelle alors **foetus**.
2	90 j.	12	30	Les organes sexuels se forment
	150 j.	24	450	La mère perçoit les mouvements du foetus
3	210 j.	40	1600	le foetus est sensible, voit des ombres, entend, goûte le liquide amniotique.



Une sphère vivante: *embryon humain composé de huit cellules. A ce stade, l'embryon est en train de descendre de l'oviducte vers l'utérus où il devra s'accrocher. Plus de la moitié des embryons n'arrivent pas à s'accrocher et meurent, étant ensuite éliminés sans que cela ne soit visible par la mère.*
Photo Wikimedia.



Echographie d'un embryon de 12 semaines (3 mois): *La forme humaine est clairement reconnaissable, le foetus nage dans un liquide qui apparait noir sur l'image. On distingue parfaitement le profil de son visage, sa colonne vertébrale, une partie de ses intestins et son cerveau. L'échographie est une technique précieuse qui permet d'obtenir facilement et sans danger des informations sur le bon développement de l'embryon.*
Photo Wikimedia/X.compagnion.

Trimestre	Âge de l'embryon	Taille (cm)	masse (g)	Évènements
	270 j.	50	3000	Il est prêt à naître.



L'essentiel de la formation de l'embryon se déroule pendant les trois premiers mois de la grossesse. L'ensemble des organes va se former en dix semaines, dans un ordre précis et d'une façon identique chez tous les humains. C'est à ce moment-là que l'embryon s'avère le plus vulnérable à certaines menaces telles que des infections qui peuvent provoquer des malformations. Après cette période critique, le foetus se développera surtout en augmentant sa taille et son poids.

Ci-contre: embryon humain de 9 semaines. La forme humaine est reconnaissable, les membres sont bien dessinés et les doigts sont en train de se découper, dessinant la main caractéristique de notre espèce. Les membres inférieurs sont aussi ébauchés, les vertèbres sont visibles par transparence. Au niveau de la tête, les yeux sont en formation, bien visibles, tout comme la future oreille, située pour le moment entre l'oeil et l'épaule! Cet embryon ne mesure que quelques cm.
Photo Wikimedia/ Dr. Ed Uthman,

Pendant le second trimestre, les mouvements du bébé vont devenir perceptibles par la mère. C'est aussi au cours de ce trimestre que la grossesse devient vraiment visible de l'extérieur, l'utérus s'étirant au fur et à mesure de la croissance de l'embryon, et repoussant les autres organes vers le haut alors qu'il fait saillie sous la peau et les muscles de l'abdomen (voir ***ici*** une animation montrant cet étirement progressif de l'utérus).

À partir du début du troisième trimestre, tous les sens du fœtus sont fonctionnels. Il entend le coeur de sa mère, et les bruits, comme les voix par exemple, provenant de l'extérieur, il voit des ombres se déplacer sur un arrière-plan légèrement lumineux, il goûte le liquide amniotique dont la composition et

Pendant le cours... Questions d'élève:

C'est quoi la différence entre les vrais et les faux jumeaux ? Parfois, deux ovulations successives au cours du même cycle peuvent conduire à deux fécondations, donc deux cellules œuf différentes, et à la naissance de faux jumeaux. Les vrais jumeaux, eux, sont issus d'une seule et même cellule œuf dont les deux premières «copies» se sont séparées au lieu de rester accrochées, chacune devenant ainsi à son tour le point de départ d'un embryon. Les vrais jumeaux proviennent donc d'une même cellule, ce qui explique leur ressemblance.

Ma cousine vient de naître, et on m'a dit que c'était un bébé-éprouvette, qu'est-ce que ça veut dire ?

Parfois, des couples rencontrent des difficultés à concevoir un enfant, et ils doivent recevoir une aide médicale. Dans le cas de ta cousine, les médecins ont prélevé des spermatozoïdes de son père et un ovule de sa mère, et ont réalisé une fécondation in vitro (FIV), c'est-à-dire sous microscope, avant de réimplanter l'embryon obtenu dans l'utérus de sa maman, où il s'est accroché et développé normalement.

Pourquoi les futures mamans ont des envies de fraises au milieu de la nuit ? *Certaines femmes ont des envies inhabituelles durant la grossesse : des végétariennes vont avoir des envies irrésistibles de viandes rouges, ou d'autre vont avoir horreur d'un plat qu'elles adorent d'habitude. L'explication se trouve dans les besoins alimentaires de la femme enceinte qui doit, en plus de son alimentation habituelle, assurer celle de l'embryon. Elle a besoin, par exemple, de plus de fer, ce qui peut expliquer des envies de viande. Les envies de la femme enceinte peuvent correspondre aux besoins du corps à ce moment-là. Les modifications hormonales peuvent également expliquer les modifications du goût. Enfin, à cause de la place occupée par l'utérus, l'estomac est écrasé: les femmes enceintes sont en général rapidement rassasiées, mais ont plus souvent faim, ce qui peut expliquer les fringales nocturnes.*

Ma sœur est enceinte, et elle fait que vomir, pourquoi ?
L'embryon et les organes qui l'entourent fabriquent, au cours de la grossesse, énormément d'hormones. Un des effets secondaires de certaines de ces hormones est de provoquer des nausées, et parfois des vomissements. Toutefois, le corps de la mère s'habitue le plus souvent à ces hormones, et les vomissements éventuels se limitent au début de la grossesse.

la saveur changent un peu selon l'alimentation de la mère. A ce stade, le fœtus pourrait naitre et serait viable, mais les derniers mois seront nécessaires pour qu'il se renforce. Ses poumons, en particulier, poursuivent leur maturation et se préparent à la vie «aérienne», extra-utérine. Cette maturation est terminée au début du 9e mois.

Relier l'embryon au milieu extérieur: comment se nourrir, respirer, éliminer ses déchets lorsque l'on est «enfermé» dans l'utérus de sa mère ?

Nous avons vu que la cellule oeuf, en se divisant, ne forme pas seulement l'embryon, mais aussi un ensemble d'organes particuliers qui accompagne et permet le développement de ce dernier, et qui n'existe que pendant la grossesse. Ces organes sont regroupés sous le nom d'**annexes embryonnaires**.



Ci-contre: cet embryon humain âgé de 45 jours s'était implanté dans l'oviducte d'une femme, menaçant de le faire éclater. Il a du être éliminé, car il ne pouvait survivre et mettait en danger la vie de sa mère. On le voit ici accompagné de ses organes annexes: il est enfermé dans le sac amniotique, transparent, et nage dans le liquide amniotique. Son cordon ombilical est bien visible, partant de l'emplacement du futur nombril, ainsi que son placenta, petite pastille rouge reliée normalement au cordon ombilical et assurant la communication entre l'embryon et l'organisme de sa mère.
Photo Dr. Vilas Gayakwad/ Wikimedia.

Le placenta et le cordon ombilical assurent la liaison de l'embryon avec le milieu extérieur, grâce à l'organisme de sa mère.

La cellule-œuf contient assez de nutriments dans son cytoplasme pour commencer à se diviser, mais pas suffisamment pour le développement de l'embryon: ce dernier doit trouver de la nourriture pour se développer. A son arrivée dans l'utérus, l'embryon est une sphère qui va former des "tentacules" microscopiques qui s'enfoncent dans la paroi de l'utérus, à la recherche des vaisseaux sanguins de la mère. Ces expansions de l'embryon vont former un organe, le placenta, qui va assurer les besoins de l'embryon, puis du fœtus, au cours de son développement.

L'embryon est relié au placenta par le cordon ombilical, par lequel du sang se dirige vers le placenta et en revient. De l'autre côté, le placenta est accroché à la paroi de l'utérus. Il représente une grande surface où circule beaucoup de sang: dans le placenta, le sang de l'embryon et celui de sa mère se

Suis-je enceinte ?

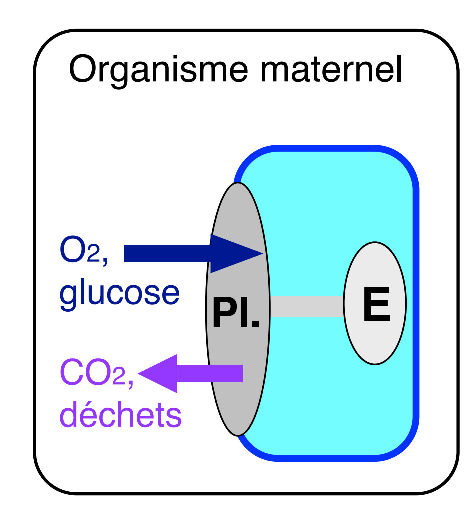
Ce n'est qu'à partir du moment où l'embryon s'implante dans l'utérus qu'il commence à manifester sa présence. En effet, la couche externe de l'œuf, accrochée dans la muqueuse utérine, fabrique l'hormone HCG, qui va permettre la production d'œstrogène et de progestérone, stabilisant la muqueuse et empêchant les règles. Cette absence de règles est le premier signe d'une grossesse, qui peut être confirmée par la recherche de l'HCG dans l'urine (avec un test en vente en pharmacie) ou dans le sang.

Toutefois, certaines femmes n'ayant pas des cycles réguliers, l'absence de règles peut passer inaperçue. D'autres signes peuvent alors alerter la femme enceinte, eux aussi causés par une production massive d'hormones. Ce sont:
- des nausées matinales, de la fatigue et une sensibilité plus forte aux odeurs.
- une augmentation du volume et de la sensibilité des seins, qui se préparent à produire du lait.
- des tiraillements dans le bas du ventre, et une envie d'uriner plus fréquente, causés par la croissance de l'utérus qui tire et appuie sur les autres organes de l'abdomen.

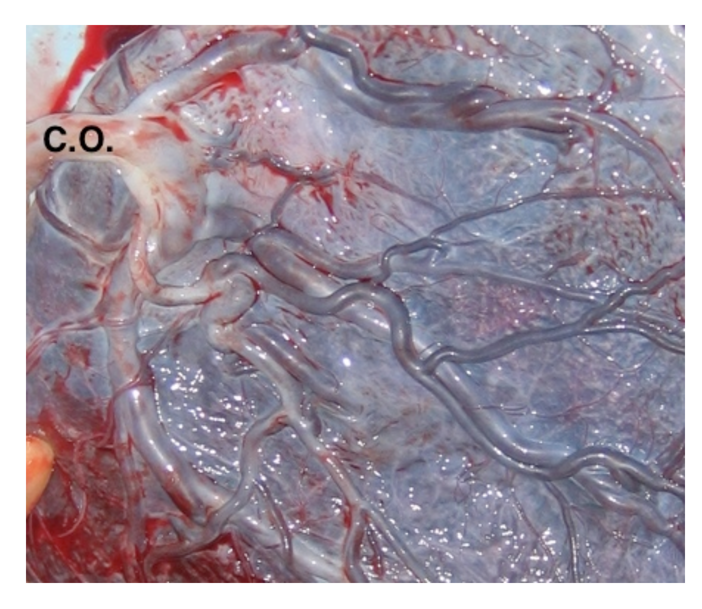
Au fur et à mesure de la grossesse s'installe, l'utérus s'étire et prend de plus en plus de place, et le ventre s'arrondit, de façon visible. Le bassin de la femme va également s'élargir. Après l'accouchement, il restera définitivement un peu plus large.

***Situation des annexes embryonnaires**: le sac amniotique (rectangle bleu foncé) contient le liquide amniotique dans lequel flotte l'embryon (E) relié au placenta (Pl.) par son cordon ombilical (C.o.) L'ensemble est enfermé dans l'utérus de la mère. C'est le placenta qui assure la communication entre l'organisme de la mère et celui de l'embryon.*
Schéma RR.

rapprochent très fortement, n'étant séparés que par l'épaisseur de quelques cellules, mais ne sont jamais en contact direct. Cette proximité du sang maternel et embryonnaire va permettre des échanges entre ces deux liquides: les gaz respiratoires, les déchets, les nutriments pourront ainsi passer du sang de la mère à celui de l'embryon, ou inversement.
Le placenta joue ainsi pour l'embryon le rôle des poumons, des reins et du tube digestif.

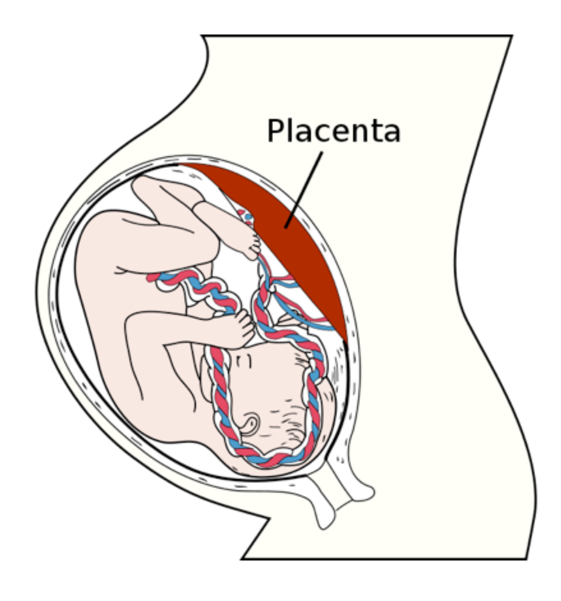


Les rôles du placenta, interface entre l'embryon et sa mère.
À travers les minces membranes de cet organe, l'embryon puise dans le sang de sa mère des nutriments, comme le glucose, ainsi que du dioxygène. Il y rejette son CO_2 ainsi que les autres déchets produits par son organismes, et qui seront éliminés par les reins de sa mère. Schéma RR.



Le placenta joue aussi un rôle protecteur, empêchant de nombreux microbes d'infecter l'embryon. Toutefois, il **ne filtre pas tout : des produits comme** l'alcool, la nicotine, la cocaïne et d'autres drogues peuvent passer dans le sang de l'embryon, avec des conséquences fâcheuses. Ainsi, fumer pendant la grossesse augmente le risque de retard de croissance de l'embryon, de naissance prématurée et, après la naissance, de mort subite du nourrisson. L'alcool, même à faible dose, peut avoir les mêmes conséquences, avec en plus, dans le cas où la mère est alcoolique, des retards mentaux et de graves malformations.

*Ci-contre: **un placenta humain**, vu du côté de l'embryon: à partir du cordon ombilical (blanc, à gauche) on distingue de nombreux vaisseaux sanguins qui se ramifie dans l'épaisseur de l'organe. Photo Wikimedia.*



Situation du placenta *en fin de grossesse. Cet organe, en forme de ventouse, mesure alors 20 cm de diamètre environ et possède une masse voisine de 1kg. À travers lui se produisent tous les échanges respiratoires et nutritionnels entre le sang de la mère et celui de l'embryon, qui se rapprochent beaucoup, mais ne se mélangent jamais.*
Schéma.

Le sac et le liquide amniotique protègent physiquement l'embryon:

L'embryon se développe dans une poche protectrice contenant un liquide. Cet ensemble protège l'embryon des chocs et des bruits, en formant autour de lui un coussin liquide. Il le protège aussi des microbes qui pourraient venir du vagin. La cavité amniotique est hermétique et le liquide qui se trouve à l'intérieur est stérile. Il permet les déplacements du bébé qui, suspendu au cordon ombilical, flotte à l'intérieur comme s'il était en apesanteur. Le liquide amniotique apporte de l'eau et des sels minéraux à l'embryon, qui en boit régulièrement.

À RETENIR: Le placenta est un organe d'échange entre la mère et le fœtus. Le fœtus reçoit les substances indispensables à sa croissance (nutriments et dioxygène) et y rejette des déchets (dioxyde de carbone, déchets azotés). Le liquide amniotique, contenu dans le sac amniotique, qui est étanche, entoure et protège l'embryon des bruits et des chocs.

L’accouchement se déroule en trois temps.

Animation montrant le déroulement d’un accouchement

La grossesse dure environ 270 jours (38 semaines = 9 mois). La plupart des femmes accouchent en fait entre 36 et 41 semaines après la fécondation.

Les scientifiques ne connaissent pas encore ce qui déclenche l’accouchement, mais il semble que l’état de maturité des poumons du foetus joue un rôle.

La future mère ressent généralement le début de l’accouchement par l’arrivée de contractions de l’utérus (qui est un muscle, ne l’oublions pas), de plus en plus fortes et rapprochées. Les contractions utérines vont provoquer la rupture du sac amniotique: le liquide qu’il contient s’échappe alors par le vagin, c’est la **perte des eaux**.

L’ensemble des contractions qui vont expulser l’enfant hors de l’utérus constitue le **travail**. Au début du travail, le col de l’utérus s’amincit et son ouverture se dilate pour laisser passage à la tête de l’enfant. La dilatation du col de l’utérus prend du temps, c’est même la phase la plus longue de l’accouchement. Elle est généralement plus longue lors du premier accouchement, où elle dure en moyenne une dizaine d’heures.

Une fois le col ouvert, la tête de l’enfant franchit le bassin. Comme ce passage est très étroit dans notre espèce, du fait de notre marche sur deux pattes, le crâne de l’enfant se déforme, s’allonge légèrement au cours de ce passage (il reprendra sa forme plus tard).

Les poussées de la mère et les contractions de l’utérus font sortir la tête de l’enfant. Lorsqu’il y a une aide médicale à l’accouchement (ce n’est hélas pas le cas dans tous les pays), la sage-femme ou le médecin aident alors au dégagement de la tête, puis des épaules, le reste du corps sortant immédiatement sans difficulté. À la naissance, l’enfant emplit ses poumons pour la première fois: il arrive alors qu’il crie, mais ce n’est pas une obligation.

A partir de ce moment-là, il n’a plus besoin d’être relié à sa mère par le cordon ombilical puisqu’il assure seul son apport en oxygène. Le cordon ombilical se contracte, il devient blanc, on peut alors le couper. Quelques dizaines de minutes après la sortie du bébé, les contractions reprennent pour faire sortir le placenta, qui s’est détaché de lui-même de l’utérus. Cet organe mou sort sans difficulté ni douleur des voies génitales. Cette fin de l’accouchement porte le nom, bien choisi, de **délivrance.**



On coupe!
Le cordon ombilical s’est contracté, devenant blanc et ne transportant plus de sang. On doit alors le sectionner.
Un lien est tranché, d’autres vont se nouer...
Photo Wikimedia



Une mère et son enfant nouveau-né.
La peau du nouveau-né est encore recouverte d’une substance grasse, le cervix, qui l’a protégée du liquide amniotique. La peau de l’enfant absorbera cette substance en quelques jours. Une nouvelle vie commence. Photo Wikimedia/ Tom Adriaenssen.

Accouchement et douleur

Pendant des millénaires, les douleurs liées à l'accouchement ont été considérées comme «normales» (principalement par les hommes) et ont même été justifiées par tout un ensemble de coutumes ou de croyances. Les progrès dans la connaissance du déroulement de l'accouchement, la reconnaissance de l'égalité de droits entre hommes et femmes ainsi que l'accès de ces dernières à la connaissance et à l'indépendance ont permis, au cours du vingtième siècle, de développer des méthodes visant à diminuer ou supprimer les souffrances inutiles liées à l'accouchement.
Ainsi, plusieurs techniques permettent de diminuer ou de supprimer les douleurs dues en grande partie aux contractions de l'utérus:

- La **préparation à l'accouchement** est basée sur le contrôle de la respiration qui permet de mieux oxygéner l'utérus et de rassurer la mère. Elle consiste en un entrainement respiratoire et musculaire visant à faciliter les efforts qui seront nécessaires lors de l'accouchement.
- L'**anesthésie péridurale** supprime toute douleur provenant du bas du corps.

Allaitement

Les glandes mammaires contenues dans les seins se sont développées au cours de la grossesse, faisant grossir ces derniers, et sont, à la naissance, prêtes à fabriquer du lait. Toutefois, elles n'en contiennent pas encore: la première **montée de lait** aura lieu quelques jours après la naissance.

Auparavant, les seins fabriquent un liquide très nourrissant qui protège aussi le nouveau-né des microbes, et que l'on appelle le colostrum. Comme chez tous les mammifères, le lait maternel humain est parfaitement adapté aux besoins de l'enfant. L'allaitement est d'ailleurs recommandé par l'Organisation mondiale de la santé pendant les 6 premiers mois de l'enfant.

L'allaitement créé un lien particulier entre la mère et son enfant. Toutefois, il n'est pas toujours possible, ou bien peut ne pas être souhaité. Il existe alors des laits "1er âge", spécialement fabriqués pour couvrir les besoins du bébé de la naissance à 6 mois.

À RETENIR: Après la fécondation, union d'un spermatozoïde et d'un ovule se produisant dans un oviducte, la cellule-oeuf se divise pour former un embryon qui va s'accrocher dans l'utérus. Cet embryon va rapidement former à la fois le futur individu et des organes annexes. L'embryon proprement dit se forme principalement en 2 mois, puis grandit ensuite. Les organes annexes sont la poche amniotique enfermant l'embryon qui flotte dans le liquide amniotique, le placenta qui permet les échanges (O_2, CO_2, nutriments, déchets...) entre le sang de l'embryon et celui de sa mère et le cordon ombilical qui relie cet organe à l'embryon. Après 9 mois, le foetus déclenche l'accouchement qui commence par la rupture du sac et l'écoulement du liquide amniotique (perte des eaux), suivi du travail de contraction de l'utérus qui permet de faire sortir l'enfant. Le placenta est le dernier organe à être éliminé de l'utérus (délivrance). Plusieurs techniques permettent de diminuer ou de supprimer les douleurs liées à l'accouchement.

Pendant le cours... Questions d'élève:

Peut-on avoir ses règles tout en étant enceinte?
Comme les règles proviennent de la «remise à neuf» de l'intérieur de l'utérus, on ne peut pas les avoir en étant enceinte, puisque l'embryon bloque, avec ses hormones, ce renouvellement. Par contre, des saignements peuvent se produire pendant la grossesse, et passer pour des règles.

Ç'est quoi un avortement ?
C'est une opération qui consiste à enlever un embryon de l'utérus. Il est réalisé soit parce que l'embryon a une grave maladie, soit parce que la femme ne désirai pas de grossesse. La loi permet, en fait de réaliser un avortement avant que l'embryon ne soit trop développé.

Ca veut dire quoi, accoucher par césarienne ?
Lorsque l'accouchement «classique» est impossible ou trop risqué pour la mère ou pour l'enfant, on réalise alors une intervention pour sortir l'enfant de l'utérus: la mère est endormie, l'utérus ouvert et l'enfant extrait, ainsi que le placenta et les autres annexes. L'ensemble cicatrice rapidement, et cette opération n'empêche pas d'avoir d'autres enfants.

Quand la femme pousse, est-ce que c'est comme quand on va aux toilettes ?
En fait, il y a deux sortes de muscles qui réalisent l'accouchement: l'utérus, lui, se contracte «tout seul», mais les muscles de l'abdomen, eux, doivent aussi se contracter, volontairement (le passage de la tête de l'enfant créé de toute façon une irrésistible envie de «pousser»), pour pousser l'enfant. Ce sont, c'est vrai, les mêmes muscles que l'on utilise lorsque l'on doit «forcer» en allant aux toilettes...

Comment se passe une naissance quand il y a plusieurs bébés?
Très simplement: le premier «ouvre la voie» pour les suivants, car une fois le col de l'utérus bien dilaté, les bébés se suivent les uns derrière les autres (il y en a rarement plus de deux).

Une fausse couche, c'est quoi ?
C'est une grossesse qui s'interrompt parce que l'embryon est mort. Cela peut venir d'une maladie de l'embryon, ou d'une malformation que n'a pas permis son développement complet. Cela peut aussi provenir d'un accident de la mère (chocs violents, par exemple).

QUESTIONS DE COURS

1/ Pourquoi peu de spermatozoïdes arrivent-ils jusqu'à l'ovule ?
2/ Où se passe la fécondation ?
3/ Qu'est-ce que la nidation ?
4/ A quel moment de la grossesse les différents organes sont ils tous déjà formés ?
5/ Qu'est-ce qui déclenche l'accouchement ?
6/ Quels sont les rôles du placenta ?
7/ Qu'appelle t'on le travail au cours d'un accouchement ?
8/ Quelle est la différence principale entre un embryon et un foetus ?

COLLES

1/ Comment l'embryon, enfermé dans le sac amniotique et l'utérus de sa mère, a t'il accès au dioxygène de l'air ? (3 pts)

2/ Dans sa chanson «Bonne idée», Jean Jacques Goldman affirme:
« *Nous avons tous été les vainqueurs, même le dernier des derniers,*
une fois au moins les meilleurs, nous qui sommes nés. »
Cela est joliment dit, mais pourquoi est-ce, en réalité, inexact ? (3 pts)

3/ Réalisez une frise chronologique reprenant les différents évènements d'une grossesse (2 pts).

EXERCICES

1 - Avénement (6 pts)



Ce bas-relief du temple de Kom-Ombo, en Égypte, présente deux scènes importantes de la maternité à l'époque antique dans cette région (*photo picasaweb/ Fabienne Sicot*).

11 - Décrivez les deux scènes.

12 - Quelle information ce bas relief nous donne-t-il sur la position de l'accouchement en Égypte antique ?

13 - Pourquoi le bébé a-t-il la tête en bas ?

2 - La guerre des idées (7 pts)

Dans le dernier tiers du 17e siècle, la plupart des biologistes qui étudiaient la reproduction se répartissaient dans deux «camps» qui s'opposaient sur les rôles respectifs des spermatozoïdes et des ovules.

En 1672, le médecin Hollandais Raignier de Graaf publie ses observations réalisées sur des lapines, chez lesquelles il a découvert, dans les ovaires, des corps ovoïdes qu'il a appelés des oeufs (mais qui, en fait, contiennent les ovules). Pour lui, l'embryon existe déjà dans cet oeuf, et le sperme ne fait que déclencher son développement. Les scientifiques qui vont adopter ses conclusions sont appelés les «ovistes».

5 ans plus tard, en 1677, un des inventeurs du microscope, Van Leeuvenhoek, découvre dans le sperme des hommes, ainsi que dans celui d'autres animaux, des «petits animaux», des «animalcules»: les spermatozoïdes. Dès lors, selon Leeuwenhoek « *C'est exclusivement la semence mâle qui forme l'embryon, et la seule contribution que la femme puisse apporter est de recevoir la semence et la nourrir.* ». Les scientifiques qui vont partager ses idées seront les «animaculistes».

21 - En utilisant vos connaissances modernes, dites pourquoi chacun de ces camps se trompait, tout en mentionnant ce qui était exact dans leur façon de penser (4 pts)

22 - En 1694, Nicolas Hartsoeker, observant des spermatozoïdes, imagine de quelle façon un petit embryon, qu'il nomme «homonculus», pourrait être contenu dans une spermatozoïde. Il dessine une représentation de son idée (voir ci-contre), et, 5 ans plus tard, François de Plantade, pour se moquer que ceux qui vont le croire, et de ceux qui, ayant lu Artsoeker, sont persuadés d'avoir vu «pour de vrai» l'homonculus, affirme, en se cachant sous le pseudo de Dalempatius, avoir réellement observé l'homoncule imaginé par Hartsoeker sous la forme de «*têtards qui, quittant leur enveloppe, deviennent très distinctement (!) des figures humaines.*»
En expliquant vos réponses, dites si Nicolas Hartsoeker était oviste ou animalculiste ? Et François de Plantade ? (3 pts)

3 - Théâtre d'opérations (5 pts)

Réalisez un schéma titré et légendé des voies génitales féminines sur lequel vous indiquerez le parcours des spermatozoïdes, de l'ovule et de l'embryon jusqu'à la nidation..

4 - Désir d'enfant (12 pts)

Maeva et Loïc souhaitent concevoir un enfant ce mois-ci. Pour mettre le plus de chance de leur côté, ils veulent savoir quel est le meilleur moment pour avoir des rapports sexuels. Le cycle de Maeva est présenté ci-dessous:

L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3
			menstruation																											

41 - Ses cycles sont habituellement de 27 jours. L'ovulation ayant lieu théoriquement 14 jours avant l'arrivée des règles, quel jour ovulera-t-elle probablement ? (1 pts)

42 - Connaissant la durée de vie d'un ovule et d'un spermatozoïde, est-il théoriquement possible que Maeva tombe enceinte s'ils ont eu un rapport le jeudi 13 ? Le Mercredi 19 ? Le Mardi 25 ? (3 pts)

43 - Indiquez sur le calendrier la date présumée d'ovulation, et la période pendant laquelle des rapports sexuels peuvent conduire à une fécondation. (2 pts)

44 - Maeva et Loïc ont eu des rapports sexuels pendant la période la plus propice, mais cela n'a pas déclenché de grossesse. Quelles peuvent être la ou les raisons de cet échec ? (3 pts)

45 - Cette méthode pour optimiser les chances d'avoir un enfant a été mise au point par le Docteur Ogino. D'autres couples l'ont utilisée, au contraire, pour ne pas concevoir d'enfant, en évitant les rapports sexuels quelques jours avant et après la date théorique de l'ovulation. Cependant, de nombreux bébés sont nés alors que les parents ont utilisé cette méthode. Pourquoi ? (3 pts)

5 - Logotron (2 pts)



Le logo représenté ci-contre a récemment fait son apparition sur certains produits. Que peut-il signifier ?

A - Que les femmes enceintes ne doivent pas boire, sous peine d'uriner trop abondamment et trop souvent ?

B - Que ces produits sont interdits aux femmes enceintes ?

C - Que les femmes enceintes doivent éviter de boire de l'alcool ?

D - que les femmes enceintes ne doivent pas se tenir le dos en buvant, car cela crée une pression néfaste pour le foetus sur l'arrière de leur utérus?

E - Que les femmes enceintes ne doivent pas boire avant d'accoucher ?

Vous expliquerez votre choix

6 - Les mains sales (4 pts)

Au 18e siècle, lorsque les accouchements commencèrent à se faire plus souvent à l'hôpital qu'à domicile, la mortalité des mères augmenta à cause de «fièvres puerpérales», c'est-à-dire d'infections attrapées lors des accouchements. Il faut préciser qu'à l'époque, les microbes et leur rôle étaient inconnus. Malgré tous, les médecins Alexander Gordon et surtout Charles White montrèrent que l'on pouvait fortement diminuer ces fièvres simplement en forçant les médecins qui réalisaient des accouchements à se laver les mains.

Pourquoi, à votre avis, les femmes ayant accouché étaient-elles frappées par ces fièvres, et pourquoi le simple lavage des mains est-il efficace ?

7 - l'erreur du Stagirite (8 pts)

Vers l'an - 340, le philosophe Aristote, un scientifique de tout premier plan dans l'antiquité par l'étendue de ses connaissances et la profondeur de ses réflexions (il fera autorité pendant 20 siècles!) nota dans un de ses livres «sur la génération», ses réflexions et ses observations sur la reproduction. On peut y lire: «*Toujours la femelle donne la matière, et le mâle fournit le principe créateur. Selon nous, c'est là réellement l'action de l'un et de l'autre; et c'est précisément ce qui fait que l'un est femelle, et que l'autre est mâle. Il y a donc nécessité que la femelle fournisse le corps et la masse ; mais ce n'est pas nécessaire pour le mâle… Ainsi, le corps vient de la femelle, et l'âme vient du mâle.*»

71 - Vous qui disposez des connaissances modernes, dites quelles sont les erreurs commises par Aristote. (2 pts)

72 - Quelles observations faciles à faire (en - 340, Aristote ne disposait même pas d'une loupe....) ont pu permettre à Aristote de tirer ses conclusions ? (4 pts)

73 - D'après les informations fournies dans l'exercice 2, si Aristote avait vécu au 18e siècle, l'aurait-on rangé plutôt du côté des ovistes ou des animalculistes ? Expliquez votre réponse (2 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ Peu de spermatozoïdes arrivent jusqu'à l'ovule, car ils trouvent sur leur route de nombreux obstacles à surmonter: ils doivent résister à l'acidité du vagin, traverser le mucus qui barre l'accès à l'utérus, remonter le long des parois de ce dernier, trouver les trompes, et s'engager dans celle contenant l'ovule en résistant aux mouvements des cils microscopiques de l'oviducte, qui transportent l'ovule, mais freinent les spermatozoïdes. Ces obstacles expliquent que peu de spermatozoïdes (et parfois aucun), sur les centaines de millions libérés au départ, parviennent jusqu'à l'ovule.

2/ La fécondation se produit dans l'oviducte, au niveau du premier tiers de celui-ci (côté ovaire)

3/ La nidation est la fixation, l'accrochage de l'embryon dans la muqueuse qui recouvre l'intérieur de l'utérus.

4/ Les différents organes de l'embryon sont tous déjà formés à la fin du second mois de la grossesse (à l'exception du développement des organes sexuels qui, lui, se produira d'ici la fin du troisième mois).

5/ C'est une question piège, car les biologistes ignorent en fait ce qui déclenche l'accouchement. Nous savons qui le déclenche (le foetus) mais pourquoi, mystère! Il y a probablement un lien avec la taille du foetus, qui est devenu trop gros pour satisfaire ses besoins à partir de ce que lui apporte le placenta.

6/ Le placenta joue le rôle de poumon (apport de dioxygène et élimination du CO_2), de tube digestif (apport de nutriments) et de rein (élimination des déchets).

7/ Au cours d'un accouchement, le travail est l'ensemble des contractions du muscle utérus visant à pousser le foetus vers la sortie.

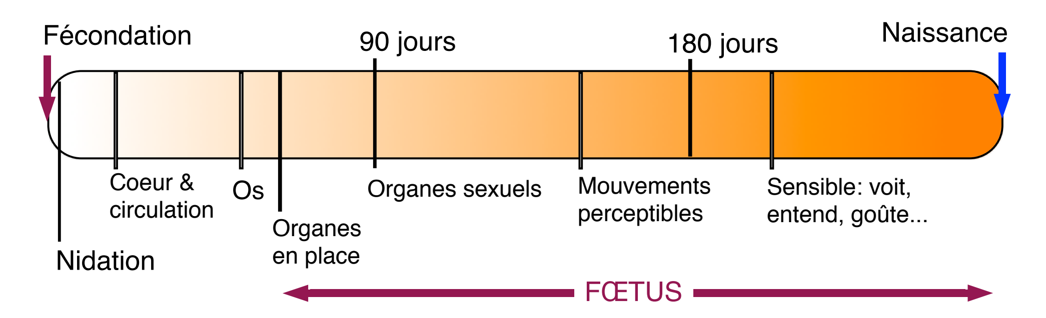
8/ La différence principale entre un embryon et un foetus est qu'un foetus possède une forme humaine reconnaissable, et va principalement se développer en augmentant sa taille et sa masse, alors qu'un embryon ne ressemble pas à un humain et voit ses différents organes se mettre en place et se former petit à petit.

COLLES

1/ L'embryon, enfermé dans le sac amniotique et l'utérus de sa mère, accède au dioxygène de l'air grâce au placenta qui lui permet de trouver ce gaz dans le sang de sa mère. Ainsi, l'O_2 pénètre dans les poumons de la mère, puis franchit la paroi des alvéoles pulmonaires pour se retrouver dans le sang. Ce sang, propulsé par le coeur maternel, circule dans l'organisme et parvient ainsi dans l'utérus. A ce niveau, il traverse la membrane du placenta et se retrouve dans le sang de l'embryon., qu'il va rejoindre en empruntant le cordon ombilical.

2/ Jean Jacques Goldman se trompe car, dans sa chanson, il fait comme si «*nous qui sommes nés*», nous provenions seulement du spermatozoïde qui a «gagné la course». Ors, nous provenons aussi, et pour moitié, de l'ovule qui est resté «sagement» à l'attendre... «Nous» n'avons jamais été un spermatozoïde, ni un ovule, mais «nous» avons commencé d'exister, en tant que cellule tout d'abord, qu'au moment ou les deux noyaux de ces cellules se sont complétés, pas avant.

3/ Frise chronologique reprenant les différents évènements d'une grossesse: bien qu'il y ait plusieurs façons de réaliser cette frise, votre travail, en se basant sur la tableau de la page 6, devrait ressembler à cela:



EXERCICES

1 - Avénement (6 pts)

11 - À gauche, un enfant (représenté trop grand) est en train de téter sa mère, qui li donne le sein. À droite, une femme est en train d'accoucher, la moitié du corps de son enfant étant déjà sortie . (En fait, ces scènes se rapportent à la mythologie, décrivant la naissance de divinités, mais comme ces divinités ont de nombreux caractères humains, leur représentation correspond aux pratiques quotidiennes des Égyptiens de l'époque).

12 - D'après ce bas relief, les femmes de l'Égypte antique accouchaient en position accroupie.
Cette position devait être courante, car on la retrouve mentionnée sur plusieurs murs de temples, comme par exemple, ci-contre, dans la salle du trésor du temple d'Edfou - Photo [Wikimedia/Rémith].

13 - Le bébé a la tête en bas, car cette position correspond majoritairement à la façon dont est orienté le foetus avant sa naissance: il se présente la tête la première, et c'est donc la première partie de son corps à sortir de sa mère (*si ce n'est pas le cas, actuellement, l'accouchement est alors réalisé par césarienne*).

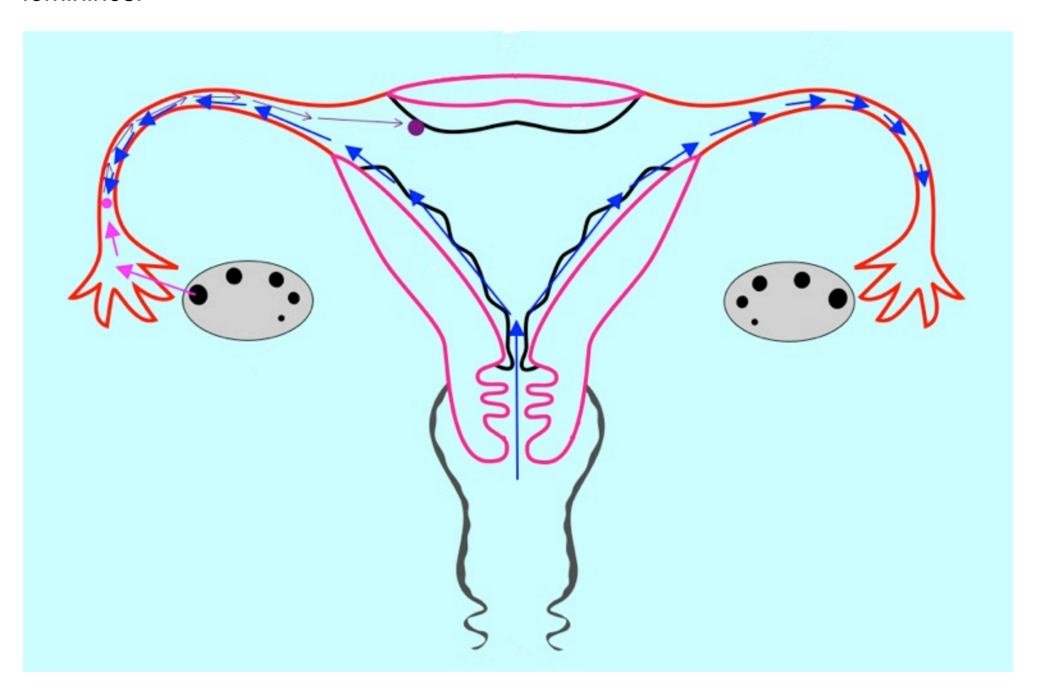
2 - La guerre des idées (7 pts)

21 - Les ovistes avaient raison de dire que l'ovule jouait bien un rôle dans la reproduction, mais ils se trompaient lorsqu'ils affirmaient que lui seul était à l'origine d'un nouvel être, et qu'il était, à lui seul, le point de départ de l'embryon. Il se trompaient aussi en pensant que l'embryon était déjà dans l'ovule avant la fécondation.
Les animalculistes avaient raison de dire que le spermatozoïde jouait bien un rôle dans la reproduction, mais ils se trompaient lorsqu'ils affirmaient que lui seul était à l'origine d'un nouvel être, et qu'il qu'il contenait un embryon que la mère allait se limiter à simplement nourrir.

22 - Nicolas Hartsoeker pense qu'il existe un embryon dans chaque spermatozoïde. Il croit donc que ce sont ces cellules qui jouent le rôle principal dans la reproduction, puisque l'embryon serait «déjà là» avant même toute fécondation. Hartsoeker était donc un animalculiste.

François de Plantade, lui, a voulu se moquer des animalculistes et de leur volonté de voir des embryons partout. Il n'était donc pas un animalculiste. Cela ne signifie pas qu'il ait été un partisan des ovistes: écrivant pour se moquer de ses collègues scientifiques, il n'avait probablement aucune opinion sur ces problèmes (*en fait, il était astronome*).

3 - Théâtre d'opérations (5 pts)
Parcours des spermatozoïdes, de l'ovule et de l'embryon dans les voies génitales féminines.



Le parcours des spermatozoïdes est représenté en bleu: partant du sommet du vagin, ils remontent l'utérus et les oviductes. Les survivants qui ont emprunté l'oviducte (ou trompe) droite (à gauche sur le schéma) y trouvent un ovule (point rose) dont le parcours depuis l'ovaire a été fléché en rose. Après la fécondation, l'embryon parcourt l'oviducte vers l'utérus (flèches fines) où il finit par s'implanter (point violet): c'est la nidation.

4 - Désir d'enfant (12 pts)

L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me	J	V	S	D	L	Ma	Me
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3
			menstruation							♥						♥						♥								

41 - Les cycles de Maeva étant de 27 jours, on lit sur le calendrier que ses règles ont débuté le 6. Ses prochaines règles devraient commencer 27 jours plus tard, soit le 3. Si l'ovulation a lieu 14 jours avant, elle devrait donc se produire le 19.

42 - Si les rapports ont lieu:

- le jeudi 13, les spermatozoïdes ne vont pas trouver d'ovules. Ils peuvent patienter 3 jours environ, soit jusqu'au 16, mais pas jusqu'au 19. Maeva ne devrait donc pas tomber enceinte.
- le mercredi 19, ovule et spermatozoïdes pourront se rencontrer, ce qui fait que Maeva devrait tomber enceinte.
- Le mardi 25, ce sera trop tard: l'ovule va rester en vie jusqu'au 20 ou 21, mais jamais jusqu'au 25. Il n'y aura donc pas de grossesse.

43 - Sur le calendrier, la date présumée d'ovulation est le 19. La période pendant laquelle des rapports sexuels peuvent conduire à une fécondation s'étend de 3 jours avant l'ovulation (survie des spermatozoïdes) à un jour après (survie de l'ovule), soit du 16 au 20.

44 - Plusieurs raisons peuvent expliquer l'absence de grossesse:

- L'ovulation de Maeva a pu se produire à une autre date, sa régularité étant loin d'être absolue
- Aucun spermatozoïde n'est parvenu jusqu'à l'ovule, ils sont tous morts en chemin.
- Les spermatozoïdes ont bien atteint un ovule, mais l'embryon qui s'est formé n'a pu continuer à se développer, et est mort sans laisser de traces. Il est possible, par exemple, qu'il n'ait pas réussi à se fixer à la muqueuse de l'utérus.

45 - De nombreux bébés sont nés alors que les parents ont utilisé cette méthode afin d'éviter une grossesse, car la période d'ovulation n'est jamais connue avec précision: elle peut varier sans prévenir (voir chapitre précédent), ce qui se traduit par une grossesse non désirée. De plus, la durée de la survie des spermatozoïdes, de l'ovule, la date de l'ovulation sont des données statistiques, valables dans la majorité des cas, mais pas tous. Ainsi, par exemple, la date de l'ovulation est une date moyenne, mais vous savez très bien qu'une moyenne ne correspond pas obligatoirement à la réalité (vous pouvez avoir 13 de moyenne en SVT en n'ayant jamais obtenu la note 13, mais en ayant eu 10, 16, 12 et 14 par exemple, il en est de même pour la date de l'ovulation. avec de nombreux bébés non désirés en conséquence!).

5 - Logotron (2 pts)

Le logo représenté signifie que les femmes enceintes doivent éviter de boire de l'alcool (C). En effet, l'alcool bu se retrouve dans le sang et traverse la placenta pour aller intoxiquer, légèrement ou fortement, l'embryon. Il est particulièrement néfaste au début de la grossesse, lorsque les organes se forment. Comme les médecins ont considéré qu'il valait mieux éviter totalement l'alcool, on doit remarque que la réponse B (produits sont interdits aux femmes enceintes) est également convenable.

6 - Les mains sales (4 pts)

Au 18e siècle, les femmes ayant accouché étaient frappées par des fièvres provenant d'infections, car au cours de l'accouchement, il se produit des saignements provenant, par exemple, de l'utérus, mais aussi de plusieurs autres parties des voies génitales. Comme les médecins de l'époque ne se lavaient pas les mains, ils transportaient sur eux les microbes provenant des autres malades, qui utilisaient les plaies de femmes venant d'accoucher pour rentrer dans leur organisme et provoquer des infections.

Le lavage des mains était efficace contre ces infections, car il éliminait les microbes que les médecins transportaient alors d'un malade à un autre.

7 - l'erreur du Stagirite (8 pts)

71 - Aristote commet deux erreurs, compréhensibles à son époque, qui viennent qu'il se laisse tromper par la différence entre homme et femmes: il considère que la femme fournit une «matière» brute qui sera «animée» par l'homme, ce qui, dans nos termes modernes voudrait dire que le spermatozoïde transporte toute «l'information» pour faire un embryon et qu'il «l'utilise» sur l'ovule. Ceci est totalement inexact puisque spermatozoïde et ovule, à cause du nécessaire mélange de leurs noyaux, coopèrent à égalité pour former un nouvel individu.

72 - Les observations d' Aristote peuvent provenir de ses observations sur la reproduction des animaux d'élevages, faciles à observer. Il voit ainsi, par exemple, que les femelles des oiseaux pondent des oeufs d'où sortent les petits, que els femelles mammifères grossissent avant d'accoucher: l'embryon se développe donc bien toujours chez la mère. Par contre, la «contribution» des mâles se limite à un simple liquide, en petite quantité, insuffisant donc pour former un individu, bien qu'elle soit indispensable. Aristote peut donc en déduire que le corps de la femme fournit de la matière (et le fait que les règles soient stoppées pendant la grossesse

lui confirme que de la «matière» féminine doit être retenue dans le corps de la mère, et servir à faire l'enfant) et que les mâles fournissent, eux un «stimulant» indispensable, une «force» qui permet à la matière féminine de prendre forme.
Aristote se trompait bien sur, mais il raisonnait bien de façon scientifique à partir des observations limitées dont il pouvait disposer.

73 - D'après les informations fournies, Aristote considère bien que les deux sexes jouent un rôle dans la reproduction, et que ce rôle est différent. Il considère que c'est l'Homme qui fournit ce qui va animer la «matière brute», féminine, il est donc plus près des animalculistes (même s'il ne connaissait pas l'existence des spermatozoïdes) que des ovistes. Il précise bien, en effet, que selon lui c'est l'homme qui fournit le «principe», c'est-à-dire le principal! Il faudra plus de deux millénaires pour que cette erreur soit rectifiée par de nouvelles observations , permises par de nouvelles techniques d'observation.



Glossaire

Fragment d'une oeuvre de Sûshi Sawaki (1737) décrivant une «Ubume», divinité japonaise représentant l'esprit d'une femme morte en accouchant. Original Wikimedia.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donnés ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Annexes embryonnaires: organes d'origine embryonnaire qui protègent et assistent l'embryon. Ce sont le sac amniotique, le cordon ombilical et le placenta.

Animalcule : petit animal. Il s'agit du premier nom que l'on a donné aux spermatozoïdes (mot qui, d'ailleurs, signifie bien «les animaux du sperme»).

Anesthésie: moyen de supprimer, totalement ou au niveau d'une partie du corps, les sensations douloureuses.

Apesanteur: absence de pesanteur, c'est à dire de force exercée par la Terre ou un autre astre (on parle aussi, improprement, d'apesanteur lorsque le poids d'un corps est «compensé» par la poussée d'Archiméde dans l'eau, comme pour l'embryon dans le liquide amniotique).

Cellule-oeuf : première cellule d'un individu, provenant de la fécondation.

Cervix : substance recouvrant la peau du nouveau né, et le protégeant du liquide amniotique.

Confrontation: affrontement, situation d'opposition à un élément ou une personne.

Cordon ombilical : Organe reliant le système circulaire de l'embryon au placenta. Sa cicatrice est le nombril.

Cytoplasme: partie d'une cellule entre membrane et noyau.

Décimer: sacrifier une grande parie d'un groupe, perdre un grand nombre d'éléments.

Délivrance: expulsion du placenta qui marque la fin de l'accouchement.

Echographie: technique rapide, peu couteuse, sans dangers et indolore qui permet d'obtenir des images de l'intérieur du corps au moyen d'ultrasons.

Embryon: être vivant en cours de formation, que ce soit dans un oeuf ou à l'intérieur de sa mère.

Extra utérine: en dehors de l'utérus

Fécondation: rencontre de deux cellules reproductrices dont les noyaux fusionnent.

Flagelle: expansion du cytoplasme du spermatozoïde formant un «fouet», une «queue» qui lui permet de se déplacer dans les liquides.

Foetus : embryon qui possède une forme humaine reconnaissable, et dont le développement va principalement se faire par augmentation de taille.

Hormone: substance fabriquée par un organe, libérée dans le sang et qui agit sur le fonctionnement d'un organe-cible

Imagerie: Technique médicale permettant d'obtenir, sans ouvrir, des images de l'intérieur du corps la radiographie et l'échographie sont les plus connues).

Jumeaux: embryons présents ensemble dans l'utérus de leur mère. On distingue les vrais jumeaux, qui proviennent de la même cellule oeuf et sont donc «identiques», et les faux jumeaux, provenant de deux ovules et deux spermatozoïdes différents.

Liquide amniotique: liquide dans lequel baigne l'embryon, qui le protège et lui apporte l'eau dont il a besoin. Sa composition correspond à peu près à celle de l'eau de mer.

Malformations: défauts provenants d'un mauvais développement de l'embryon, par accident ou à cause de l'action de produits toxiques consommés par la mère.

Montée de lait: fabrication de lait par les seins après l'accouchement.

Mort subite du nourrisson: maladie mortelle d'origine inconnue, rare, qui se manifeste par un arrêt subit de la respiration chez de très jeunes enfants.

Mucus: substance gluante protectrice fabriquée par les muqueuses.

Muqueuse: Couches de cellules qui recouvrent et protègent l'intérieur d'un organe creux.

Nidation: fixation de l'embryon dans la muqueuse de l'utérus.

Ovulation: émission d'un ovule fécondable par l'un des deux ovaires au milieu d'un cycle menstruel

Péridurale : anesthésie qui supprime toute douleur provenant du bas du corps.

Perte des eaux: sortie du liquide amniotique présent dans le sac amniotique lorsque ce dernier se rompt, au début de l'accouchement.

Placenta : organe assurant les échanges entre le sang de l'embryon et celui de sa mère.

Rein: organe éliminant les déchets du sang dans le milieu extérieur.

Sac amniotique : poche entourant l'embryon, contenant le liquide amniotique et isolant l'embryon du milieu extérieur (on trouve souvent, improprement, le mot amnios pour désigner ce sac).

Sexualité: Ce qui concerne le reproduction des êtres vivants qui utilisent deux cellules reproductrices différentes pour se reproduire.

Travail: ensemble des contractions de l'utérus

Trompe: conduit dans lequel circule l'ovule après l'ovulation. C'est l'oviducte (on le nomme aussi ainsi à cause de sa forme).

Utérus: muscle creux, extensible, dans lequel se développe l'embryon.

Vaisseaux sanguins: «tuyaux» étanches, de taille variée, transportant le sang dans l'organisme.

Autour de la grossesse

Fragment du tableau «le baiser» de Carolus-Duran (1868) . Document original Wikimedia.

Poème

Des milliers de poèmes ont été écris par des hommes pour des femmes, et inversement. En choisir un est forcément arbitraire, et pour rester dans la rime, j'ai choisi Baudelaire.

Le Léthé

Viens sur mon coeur, âme cruelle et sourde,
Tigre adoré, monstre aux airs indolents ;
Je veux longtemps plonger mes doigts tremblants
Dans l'épaisseur de ta crinière lourde ;

Dans tes jupons remplis de ton parfum
Ensevelir ma tête endolorie,
Et respirer, comme une fleur flétrie,
Le doux relent de mon amour défunt.

Je veux dormir ! dormir plutôt que vivre !
Dans un sommeil aussi doux que la mort,
J'étalerai mes baisers sans remord
Sur ton beau corps poli comme le cuivre.

Pour engloutir mes sanglots apaisés
Rien ne me vaut l'abîme de ta couche ;
L'oubli puissant habite sur ta bouche,
Et le Léthé coule dans tes baisers.

A mon destin, désormais mon délice,
J'obéirai comme un prédestiné ;
Martyr docile, innocent condamné,
Dont la ferveur attise le supplice,

Je sucerai, pour noyer ma rancoeur,
Le népenthès et la bonne ciguë
Aux bouts charmants de cette gorge aiguë
Qui n'a jamais emprisonné de coeur.

Charles Baudelaire, Les fleurs du mal, 1857

Idées de lecture

Parle tout bas, si c'est d'amour de S Chérer, ed. L'Ecole des Loisirs (2006)
Haute plaine, de Karla Kuban, ed Albin Michel, 2009
En plus c'était pas prévu, Marie-Sophie Vermot, ed. L'Ecole des loisirs, 1997.
Les grands sapins ne meurent pas, D. Demers, 1993

Idées de films

Juno, de J. Reitman, 2007
Waitress, de A. Shelly, 2007
En cloques, mode d'emploi, de J. Apatow, 2007
La série **Clem**, de J. Bunuel
Jenny, Juno, de Kim Ho-joon, 2005

DVD Documentaires

L'odyssée de l'amour, de T. Binisti, 2005
Que se passe t'il dans notre organisme lorsque nous devenons amoureux ?

L'odyssée de la vie, de N. Tavernier, 2008
Une grossesse décrite «de l'intérieur».

La maitrise de la reproduction humaine



Les relations et les sentiments entre un homme et une femme n'impliquent pas forcément le désir d'une grossesse. Comment s'aimer sans risquer de donner naissance à un enfant non désiré ? Cette interrogation est une préoccupation millénaire à laquelle répond la contraception. Photo Wikimedia - Simon Liem

De la naissance subie à la naissance choisie

En France, jusqu'en 1950 environ, les naissances étaient subies: les enfants étaient nombreux, pas toujours voulus et la mortalité des mères, après accouchement, assez élevée.
Des comportements comme l'infanticide et surtout l'avortement clandestin étaient fréquents. De nos jours, ils ne sont pas exceptionnels dans les pays où la contraception n'est pas facilement disponible.
La compréhension des mécanismes de la reproduction et l'évolution des moeurs (féminisme) ont permis de choisir les naissances.

SOMMAIRE

La régulation des naissances, une longue quête.

La volonté de contrôler les grossesses a une histoire. Tous les peuples et civilisations ont développé des techniques et pratiques contraceptives. Toutefois, la mise au point de méthodes sures, efficaces, accessibles et pratiques est relativement récente.

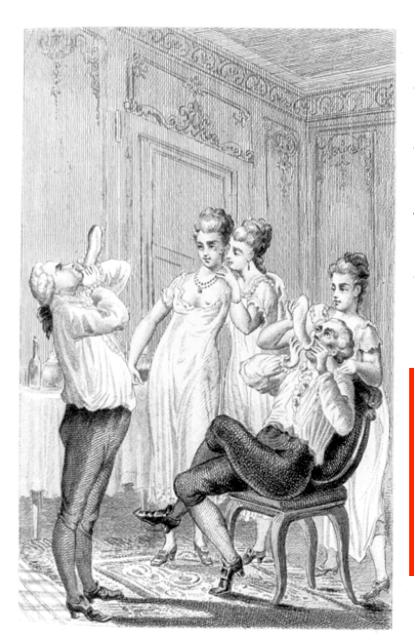
Dès l'aube de l'histoire, les hommes et les femmes ont tenté, avec plus ou moins de succès, de limiter le nombre des naissances. Leurs motivations pouvaient être variées: désir de limiter le nombre d'héritiers d'une propriété, d'espacer au maximum les grossesses pour éviter un accouchement toujours délicat, douloureux et dangereux, éviter une surpopulation augmentant le risque de famine... Si nombre de pratiques faisaient appel à des rituels magiques et se révélaient d'une efficacité plus que limitée, d'autres dérivaient d'observations «scientifiques» élémentaires et ne manquaient pas, au vu des connaissances de leur époque, d'une certaine logique.

Ainsi, dans la Grèce antique, de nombreux médecins, mais aussi et surtout de nombreuses femmes, avaient remarqué qu'une femme qui allaite ne peut pas avoir d'enfants tant qu'elle continu son allaitement. Une des façons de limiter les naissances était donc d'allaiter les enfants le plus tardivement possible. Il y eut également des tentatives pour utiliser les diverses étapes du cycle menstruel comme repères afin d'éviter les rapports sexuels à certains moments: pour plusieurs médecins grecs (Ve siècle av. J.-C.), la fécondité de la femme était maximale après les règles. Ils préconisaient donc de ne pas avoir de rapports à ce moment-là (en fait, l'ovulation se produisant grossièrement deux semaines après les règles, cette méthode du donner naissance à de nombreux enfants...). Une observation élémentaire allait pourtant donner la clé d'un principe de contraception toujours actuel: bien que de nombreux mystères entouraient dans l'antiquité la façon dont se réalisait la reproduction, il fut rapidement évident que pour avoir des enfants, le sperme de l'homme devait entrer en contact avec l'intérieur du vagin de la femme.

Une méthode «contraceptive» des plus risquée se développa alors, et se retrouve tout au long de l'histoire (et encore, hélas de nos jours): le «coït interrompu» (parfois noté en latin *coitus interruptus*): il s'agit tout simplement pour l'homme de se retirer de la femme avant d'éjaculer. Malheureusement, dans le feu de l'action, le succès de la manoeuvre est loin d'être garanti...

Toutefois, il était aussi possible d'imaginer que toute sorte de «barrières» entre le sperme et l'intérieur du vagin devaient permettre d'éviter les grossesses. Ainsi naquirent les préservatifs.

Au cours de l'histoire, les préservatifs masculins furent surtout utilisés non pour éviter les grossesses (ce qui n'était pas une difficulté pour les hommes se préoccupant peu, à l'époque, de leur descendance éventuelle et de leurs compagnes), mais surtout pour éviter les maladies sexuellement transmissibles. Toutefois, les préservatifs étaient extrêmement inconfortables et d'un usage malaisé, et il faudra attendre le début du vingtième siècle pour disposer de préservatifs efficaces, confortables et pratiques.



***Ci-contre**: Au 18 éme siècle, l'écrivain et diplomate G. Casanova était un séducteur célèbre. Il est ici représenté en train de «tester» pour amuser ses ami(e)s des préservatifs alors d'un usage courant dans son milieu. Doc. Wikimedia.*

La contraception est l'ensemble des méthodes réversibles ayant pour but d'empêcher une grossesse en cas de rapport sexuel.



*Cette **carte postale de la fin du 19 éme siècle** montre une jeune femme aux prises avec la «fameuse» cigogne qui «apportait les bébés». La carte affirme «and the vilain still pursues her» («et la méchante la poursuit toujours»): vous aurez compris qu'ici, la cigogne représente le risque d'une grossesse non désirée, risque qui «poursuit toujours» la jeune femme...*

Empêcher le contact des gamètes

Le préservatif masculin

C'est une gaine de latex placée avant pénétration sur le pénis en érection qui empêche les spermatozoïdes de rentrer dans le vagin: la fécondation est donc impossible. Les préservatifs modernes sont extrêmement surs et d'un emploi facile, ils offrent aussi le grand avantage, en plus de leur efficacité contraceptive, d'offrir une protection contre les maladies sexuellement transmissibles.

De nos jours, les préservatifs, à usage unique, sont facilement disponibles. Toutefois, pour être efficaces, ils doivent être employés en prenant la précaution de ne pas les endommager et surtout de façon à maintenir leur étanchéité: il faut que le garçon se retire du vagin de sa partenaire juste après l'éjaculation, avant que la diminution de l'érection ne permette au sperme de s'échapper par les côtés du préservatif...

Afin que l'usage du préservatif soit efficace, il faut suivre le mode d'emploi imprimé sur les emballages, et faire attention à la date limite!

Il existe des préservatifs en matière plastique souple pour les hommes (ou les femmes) allergiques au latex (il en existe).

Les préservatifs féminins

Les femmes ont essayé très tôt dans l'histoire de faire obstacle au sperme (donc aux spermatozoïdes) afin d'éviter les grossesses. Dès l'antiquité, elles utilisaient des compresses et des éponges introduites dans le vagin pour faire obstacle au sperme. Ces pratiques étaient d'une efficacité limitée, mais avaient l'avantage de donner aux femmes la maitrise de leur contraception, qui ne dépendait plus alors du bon vouloir des hommes (à travers l'usage des préservatifs masculins, même si leur efficacité était limitée également à l'époque). A la renaissance, les prostituées utilisaient des «bouchons» vaginaux imbibés d'un liquide savonneux, dont on découvrira plus tard qu'il tue les spermatozoïdes. Toutefois, ces tampons posaient des problèmes d'hygiène et favorisaient les infections. Ils contribuaient aussi, malheureusement, à associer dans l'esprit des gens les préservatifs avec la prostitution.

Dès le début du vingtième siècle, un préservatif féminin a été disponible. Il tomba rapidement dans l'oubli, mais depuis le début des années 1990 le préservatif féminin, modernisé, est de nouveau disponible. Il est efficace, mais sa mise en place, à l'intérieur du vagin, nécessite une bonne connaissance de son corps et n'est pas possible chez une jeune fille vierge.

Signalons aussi, depuis les années 1960, l'existence d'un dispositif nommé diaphragme, qui est une membrane de caoutchouc ou de silicone recouvrant le col de l'utérus, mise en place au fond du vagin avant les rapports sexuels, et recouverte d'une crème qui tue les spermatozoïdes. C'est un procédé efficace, mais qui, lui aussi, nécessite une bonne connaissance de son corps, et n'est pas utilisable par une jeune fille vierge pour ses premiers rapports.

Les Infections sexuellement transmissibles

Il existe de nombreuses infections transmises lors des rapports sexuels. Elles portent des noms imprononçables et sont causées par des unicellulaires parasites (trichomoniase), par des bactéries (siphylis, mycoplasmes, gonorrhée, chlamydiose) ou des virus (Herpès génital, SIDA).

Elles se manifestent par des symptômes variés, mais qui impliquent souvent des brulures en urinant (spécialité de la Gonorrhée, une des plus répandue), des démangeaisons au niveau des organes sexuels, l'apparition de boutons ou d'écoulements blancs au niveau de ces organes.

Parfois, elles ne se manifestent par aucun signe visible.

Toutes ces maladies, sauf le SIDA, se soignent facilement, le plus souvent avec des antibiotiques. Si elles ne sont pas soignées, elles peuvent causer la stérilité, chez la femme et/ou chez l'homme. **Le SIDA, lui, reste à ce jour mortel**.

Pour éviter ces maladies, l'utilisation de préservatifs est plus que recommandée, ainsi, bien entendu, qu'une bonne hygiène des organes sexuels.

Plus de détails sur le site des IST (vous y trouverez les «interviews» des microbes les plus célèbres).



Depuis le début des années 1980, l'humanité est engagée dans la lutte contre l'épidémie mondiale de SIDA. L'association ci-dessus donne toutes les informations nécessaires sur cette maladie, les moyens de s'en protéger et comment y faire face en cas d'infection.

La longue histoire du préservatif masculin

Les premières traces indubitables de l'usage des préservatifs nous viennent de l'Empire romain: les préservatifs, destinés avant tout à éviter les maladies sexuellement transmissibles, alors très répandues, sont fabriqués à partir d'intestin ou de vessies d'animaux; des matériaux offrant l'avantage d'être fins et étanches, mais peu résistants! En Asie, les préservatifs, vers l'an 1000, étaient fabriqués en papier de soie huilé, alors qu'au Japon les «kabuta-gata» rigides, en cuir ou en écailles de tortue (oui), servaient autant pour éviter grossesses et maladies que pour «stimuler» ses partenaires...

Les premiers préservatifs «modernes» ont été mis au point par un scientifique que nous avons déjà rencontré: Gabriel Fallope, qui a laissé son nom aux oviductes des femmes, qu'il a découvert, fut le premier à tester expérimentalement, vers 1550, a Naples, sur plus de 1000 hommes, l'efficacité contre les maladies d'un «f*ourreau d'étoffe légère, fait sur mesure, pour protéger des maladies vénériennes*». Toutefois, son invention resta d'une étanchéité problématique et n'offrait qu'une faible protection, comme le souligne un auteur au début du 17e siècle: «*Mieux vaut (...) que l'on soit diligent à laver et sécher le membre, car si l'on s'y endort longuement, il n'y a plus de remèdes. Enfin, le membre doit être droit et non pas mol et flasque, pour ce que, autrement, il boit l'infection comme une éponge et tout devient inutile*».

A la même époque, le préservatif se répand dans la noblesse: louis XIV en utilise, mais ils sont encore peu efficaces, comme le souligne la Marquise de Sévigné dans une de ses lettres à sa fille: «*c'est une cuirasse contre le plaisir, une toile d'araignée contre le danger*». Malgré cela, la fabrication des préservatifs se développe, en particulier en Angleterre, ce qui leur vaudra le surnom de «capote anglaise».

L'usage du préservatif va se répandre dans la société, en particulier en France après la révolution de 1789. C'est à cette époque que son effet contraceptif commence a être mis en avant, car à la suite des travaux de Malthus, en 1798, qui montre qu'une population ne peut croitre indéfiniment, la limitation des naissances devient une préoccupation importante. Toutefois, ces préservatifs, toujours fabriqués à partir d'intestins ou de vessies, sont peu fiables. Un grand progrès va survenir lorsque C. Goodyear découvre en 1839 un procédé permettant de rendre le caoutchouc souple, élastique et résistant. Moins de 5 ans plus tard, les premiers préservatifs en caoutchouc sont produits en masse. Il sont alors réutilisables et lavables. Vers 1930, le caoutchouc est remplacé par le latex, plus fin, plus élastique et encore plus efficace. Toutefois, après la Première Guerre mondiale, la vente des préservatifs est interdite, car de nombreux parlementaires sont favorables à une forte natalité. Ce n'est pas le cas en Angleterre ou, au contraire, les femmes voient dans le préservatif on moyen d'échapper aux grossesses non désirées et à leurs dangers: «*Plus de femmes meurent durant leur grossesse que dans les mines.*» Disent-elles, avec raison à l'époque. Cela n'empêche pas le préservatif d'accompagner les soldats pendant ma seconde guerre mondiale.

Toutefois, en France, le préservatif n'a été réellement popularisé, et sa publicité enfin autorisée, qu'en 1987, à la suite du début de l'épidémie mondiale de SIDA. C'est aujourd'hui un moyen de contraception et un moyen d'éviter les maladies sexuellement transmissibles largement répandu.



Au 18 éme siècle, les préservatifs étaient fabriqués dans des intestins d'animaux, comme ce modèle d'époque. Doc Wikimedia

Des hormones permettent d'éviter la production d'ovules

la "pilule" met les ovaires au repos

Nous avons, au chapitre 10, rencontré Ludwig Haberlandt, ce biologiste qui, dans les années 1920, avait montré que la greffe d'ovaire, puis l'injection d'extraits d'ovaires d'une lapine enceinte à une lapine ne l'étant pas la rendait incapable d'avoir des petits. Il avait ainsi montré que les hormones ovariennes pouvaient avoir une action contraceptive. En fait, les recherches d'Haberlandt visaient bien, depuis 1919, à utiliser les hormones pour mettre au point un nouveau moyen de contraception, plus efficace, et dont l'usage serait laissé à l'initiative et à la responsabilité des femmes (ce qui n'était pas le cas avec les préservatifs). Haberlandt, malgré de nombreuses difficultés qui causeront sa fin tragique (voir encadré), met au point en 1930 le premier traitement contraceptif qui utilise des hormones ovariennes. Ce traitement ne rencontre pas de succès, car les hormones doivent être injectées, ce qui rend leur emploi malaisé. Toutefois, il est démontré que les hormones oestrogènes et progestérone, si elles sont présentes en grande quantité dans le corps, empêchent 'ovulation (ainsi que le déclenchement des règles: souvenez-vous ; c'est la baisse de la quantité de ces hormones dans le sang qui déclenchait les règles, cf chap. 10).

15 ans plus tard, un spécialiste de la fécondation chez les mammifères, Le Dr G. Pincus, veut utiliser des hormones ovariennes que l'on peut simplement avaler sous forme de «pilule» dans le but de régulariser le cycle menstruel de certaines femmes malades. Un des effets secondaires de ce traitement est qu'il bloque l'ovulation, ce qui empêche d'avoir des enfants. Il ne trouve aucun soutien pour financer ses recherches, jusqu'à ce qu'une veuve millionnaire (et biologiste - voir encadré), C. Mc Cormick, accepte de financer ses recherches, mais dans le but de mettre au point «rapidement un contraceptif hormonal facilement utilisable».

Pincus et un de ses collègues, Min Chueh Chang, vont d'abord confirmer que l'hormone progestérone bloque l'ovulation. Ils sont aidés par la découverte de deux chimistes travaillant au Mexique, Carl Djerassi et Luis Miramontes, qui parviennent en 1951 à fabriquer en grande quantité de la progestérone à partir d'une substance très voisine extraite de la racine d'une plante mexicaine. En 1956, «la» pilule contraceptive, après des essais sur des centaines de femmes à Puerto Rico, est au point, mais ne sera commercialisé comme moyen d'éviter es grossesses qu'en 1960, dans certains états des USA tout d'abord. Il faudra plus de 20 ans pour que ce moyen de contraception efficace et pratique parvienne à se répandre dans les pays industrialisés. Comment agit-il ?



Katerine Dexter Mac Cormick*; première femme diplômée en biologie du MIT en 1904, défendit les droits des femmes (vote, contraception...) aux USA. Ayant hérité de la fortune colossale de son mari, elle subventionna les recherches du Dr Pincus pour mettre au point un contraceptif efficace utilisant des hormones. Doc. Wikimedia.*



Des chercheurs qui ont mis au point «la» pilule *sont présents sur cette photographie qui regroupe, de gauche à droite, le Dr Pincus, J. Hammond (spécialiste du développement des embryons, qui a mis au point l'insémination artificielle du bétail) et MC Chang. Doc Wikimedia.*

Les hormones contenues dans les pilules contraceptives cumulent trois effets contraceptifs

Le principe de la contraception hormonale est simple: il s'agit d'apporter régulièrement à l'organisme des hormones qui vont reproduire la situation d'une femme enceinte, une situation qui s'accompagne d'une absence d'ovulation, et donc d'une impossibilité d'avoir des enfants. Toutefois, l'absence d'ovulation n'est pas le seul effet contraceptif des hormones, car deux autres effets complètent l'action sur les ovaires:

- l'entrée de l'utérus fabrique en plus grande quantité un liquide gluant, la glaire, qui freine et piège les spermatozoïdes.
- la muqueuse utérine se développe moins, et comme elle est plus mince si des spermatozoïdes vigoureux ont réussi à traverser la glaire puis à féconder un ovule aventureux ayant réussi malgré tout à «s'évader» d'un ovaire, l'embryon formé ne pourra pas se fixer dans l'utérus et sera éliminé sans laisser de traces.

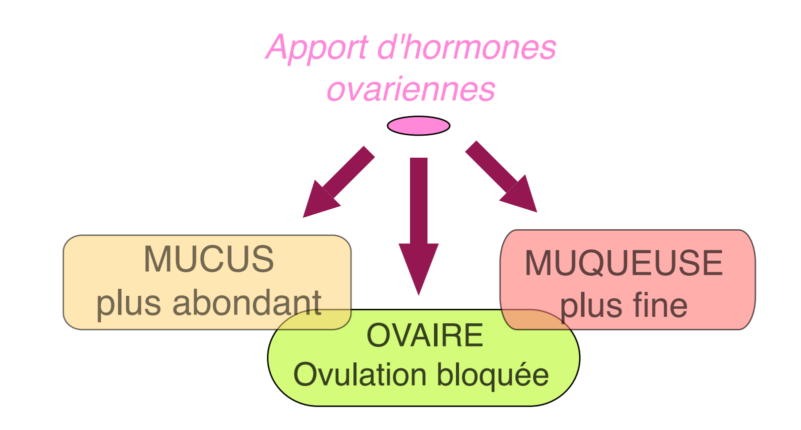
En pratique, les hormones ovariennes étant éliminées continuellement par les reins, la contraception hormonale existe sous différentes formes qui doivent permettre un apport régulier d'hormones dans l'organisme:

- des pilules à prendre chaque jour à heure régulière, les hormones rentrant dans l'organisme par l'estomac. C'est la forme la plus répandue, le seul risque, non négligeable, étant de... l'oublier !

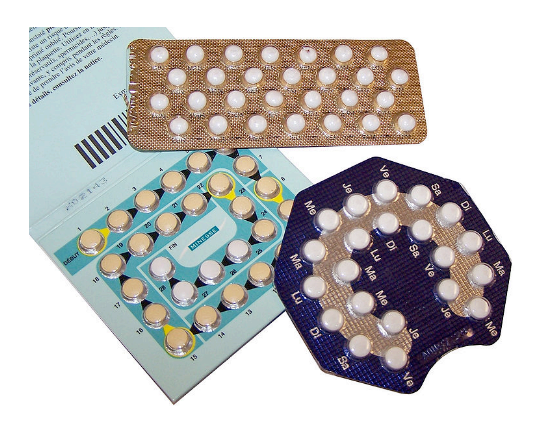
- des patchs (ou timbre - voir ci-contre, *doc Wikimedia/Keitei*) apportant les hormones à travers la peau, qui sont à changer toutes les semaines. Ils sont assez peu connus, mais très efficaces.

- des implants, glissés sous anesthésie locale sous la peau, qui vont libérer régulièrement les hormones pendant trois ans. C'est un moyen non seulement sur, mais aussi très discret.

Par un étonnant retournement de situation, les pilules contraceptives sont aujourd'hui également utilisées chez les jeunes filles qui souffrent de règles trop irrégulières ou très abondantes, car elles permettent de régulariser les cycles, en provoquant des règles peu abondantes à intervalle fixe. C'est justement pour cet effet qu'elles avaient été présentées à l'origine, à l'époque où il était risqué d'insister encore sur leur effet contraceptif...

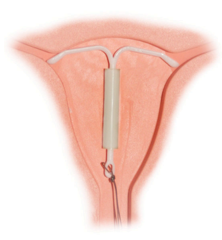


***Les effets des hormones** apportées régulièrement par les différents types de contraceptif hormonaux se cumulent. Si leur effet principal est le blocage de l'ovulation, le mucus faisant barrage aux spermatozoïdes et la muqueuse gênant une nidation éventuelle exercent aussi un effet non négligeable. Doc RR*



***Les laboratoires pharmaceutiques** ont mis au point des pilules contraceptives de type varié, toutes efficaces, mais dans lesquelles les doses hormonales sont minimes. Ces pilules «minidosées» permettent d'éviter les effets secondaires gênants des pilules de première génération. Doc Wikimedia .*

Les «dispositifs intra-utérins» (stérilets) empêchent la nidation d'un embryon éventuel



Les D.I.U., ou stérilets, sont de petits objets en forme de «T» qu'un médecin place dans l'utérus (en quelques minutes). Ils peuvent y rester plusieurs années et vont agir de plusieurs façons :

- Tous provoquent une réaction de la muqueuse de l'utérus, qui ne permet plus la fixation d'un embryon éventuel (qui est alors éliminé naturellement et passe inaperçu, sa taille étant d'une fraction de millimètre). Toutefois, il est rare qu'une fécondation puisse se produire, car ces objets agissent aussi d'une autre façon:



- Certains contiennent du cuivre (*voir doc. ci-contre,Wikimedia*) ce métal étant toxique pour les spermatozoïdes, peu survivent assez pour déclencher une fécondation. Ces dispositifs présentent l'inconvénient de rendre, chez certaines femmes, les règles plus abondantes.

- d'autres DIU contiennent des hormones qui vont être libérées progressivement. Leur mode d'action est alors le même que celui de la pilule, sans le risque d'oubli! Ces DIU diminuent le volume des règles, qui sont même parfois stoppées (ce qui ne présente aucun inconvénient).

Lorsque la femme désire avoir des enfants, le médecin retire en quelques minutes le DIU. Un même DIU peut rester en place plusieurs années. Ce mode de contraception efficace (c'est le plus utilisé dans le monde) ne peut cependant pas être utilisé chez les jeunes filles vierges pour leurs premiers rapports.

Et s'Il est trop tard ?
*Il existe un contraceptif très particulier, car il s'utilise «trop tard»: il s'agit, **après** un rapport sexuel sans protection, d'empêcher l'ovulation si elle n'a pas eu lieu, ou bien de s'opposer à la nidation. Cette pilule «du lendemain», qui est une **contraception d'urgence** qui apporte une forte dose de progestérone. Elle ne peut être utile que **dans les 3 jours suivant le rapport sexuel**. Disponible gratuitement en pharmacie, elle est cependant moins efficace que la pilule classique et **doit donc rester d'un usage exceptionnel**.*

Pendant le cours... Questions d'élève:

Prendre la pilule, ça fait grossir ? *C'est une «légende urbaine» que l'on entend très souvent. Il est vrai que les premières pilules, qui contenaient beaucoup d'hormones, provoquaient une prise de poids. Mais c'était dans les années 1960 ! Depuis, les doses d'hormones ont été réduites, et les pilules modernes ne font pas grossir. Toutefois, elles peuvent avoir des effets secondaires, dont des maux de tête. C'est pour cela qu'il faut essayer plusieurs types de pilules jusqu'à trouver celle qui n'a pas ou peu d'effets déplaisants.*

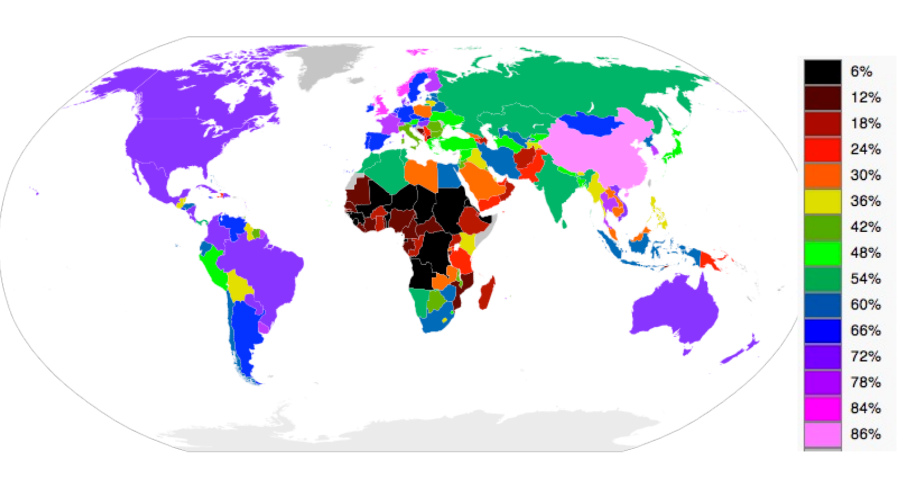
Si une fille prend la pilule, ça veut dire qu'elle a plein de relations sexuelles, non ?
Mais bien sur, et si les conducteurs doivent mettre leur ceinture de sécurité, c'est parce qu'ils roulent tous à 200 Km/h par tous les temps, non ? La pilule est une précaution à partir de l'âge où il est possible (pas certain, ni obligatoire!) de commencer sa vie sexuelle, mais c'est aussi un médicament qui diminue le volume et la durée des règles, et elle est parfois prescrite à de très jeunes filles pour cela.

Le préservatif, il peut pas exploser ou se déchirer ?
Les garçons aiment souvent se vanter de leurs «exploits» et de leur anatomie, mais dans la réalité, un préservatif masculin peut s'étirer de plusieurs fois sa longueur et se dilater d'autant (beaucoup d'élèves le savent, car ils s'en servent de «bombes à eau» avec leurs camarades...). Il n'y a donc, avec un préservatif en bon état, quasiment aucun risque d'éclatement ou de déchirure

Le stérilet, ça fait mal ?
Une fois en place, la femme ne le sent pas. La pose elle-même, qui dure quelques secondes, n'est pas agréable, mais pas douloureuse. Ajoutons que la présence d'un stérilet ne peut pas être détectée par l'homme au cours d'un rapport !

moyen contraceptif	accès	coût	Période de validité
Préservatifs masculins féminins	Libre. Vente en grande surface, pharmacies, distributeurs automatiques	à partir de 0,6 €. Gratuits dans les centres du planning familial (CPEF) et infirmeries scolaires	Se conservent dans leur emballage plusieurs mois. Une date limite d'utilisation y est inscrite.
Hormones pilules timbre implant pilule «du lendemain»	Traitement médical à faire renouveler par un médecin à intervalle variable.	de 2 à 14 € / mois, R, G 15 € /mois, 107 €, R, G G (*)	Une pilule/ jour 1 timbre / semaine 3 ans à utiliser dans les 3 jours
D.I.U. au cuivre aux hormones	Traitement médical. Pose et renouvellent a assurer par du personnel médical	31 €, R, G 126 €	reste actif de 5 à 8 ans.

***L'accès à la contraception** est diversifié et aisé en France, mais ce n'est pas le cas partout, comme le montre la carte ci-dessous. R: remboursé par la sécurité sociale. G: gratuit dans les centres du planning familial. (*) Depuis le 9 janvier 2002, le décret nº 2002-39 oblige les pharmacies à distribuer gratuitement la pilule du lendemain aux mineures. Tarifs indicatifs en mai 2012. Tableau RR.*



***De grandes différences existent** entre les régions où la contraception est disponible et celle où elle n'est pas accessible. % de couples en âge de se reproduire utilisant un moyen de contraception efficace. Données SOWM 2010.*

LA «GUERRE» DE «LA» PILULE.

Il n'a pas été simple de mettre au point, mais aussi, et surtout de parvenir à proposer librement aux femmes la première méthode de contraception efficace et discrète leur donnant la maitrise de leur corps. Dans de nombreux pays, ce combat se poursuit.

1 - Des débuts dramatiques

Dès le début des recherches sur la contraception hormonale, des difficultés sont apparues: après la Première Guerre mondiale, les pays européens désiraient voir leur population augmenter le plus possible, et les différentes religions s'opposaient à ce que les femmes puissent avoir la maitrise de leur sexualité. Ainsi, dès 1920, une loi française interdisait toute publicité pour un moyen de contraception.

Dès 1930, L. Haberlandt est fortement critiqué, isolé, pourchassé même à cause de ses recherches. En effet, il parvient à mettre au point du premier traitement hormonal contraceptif. Poursuivant ses recherches seul contre tous, sa carrière brisée, il écrit en 1931: «*l'application pratique de la stérilisation temporaire hormonale chez les femmes contribuerait nettement à une société humaine idéale (...) l'un des plus grands triomphes de l'humanité serait l'élévation de la procréation à un acte volontaire et délibéré*».

Toutefois, il rencontre une opposition toujours intense et renouvelée: ne pouvant supporter l'attitude de ses collègues et de la société où il vit, il se suicide en 1932. Aux USA, à la même époque, alors que le Dr Pincus commence lui aussi à travailler sur les effets contraceptifs des hormones, l'infirmière et sage femme Margaret Sanger lutte pour informer les femmes sur les moyens de limiter le nombre de leurs grossesses, et pour l'accès aux moyens contraceptifs alors disponibles. Elle sera à l'origine de la création d'un organisme d'information des femmes qui deviendra le planning familial....

Moyen contraceptif	Préservatifs	Hormones	D.I.U.
Principe	Empêcher le contact des gamètes	Bloquer l'ovulation. Créer une «barrière à l'entrée de l'utérus. Gêner une éventuelle nidation.	Tuer les spermatozoïdes. Empêcher une éventuelle nidation + effets des hormones si elles sont présentes.
Efficacité théorique	98 %	99,7 %	99,4 %
Efficacité réelle	85 %	92 %	99,2 %
Accessibilité	Accès libre et facile	sur ordonnance médicale	sur ordonnance médicale
Mode d'utilisation	A mettre en place avant les rapports sexuels. Protège aussi des infections sexuellement transmissibles.	Les hormones sont diffusées à partir du tube digestif (pilule), à travers la peau (patch/timbre), sous la peau (implant); où même dans l'utérus (DIU hormonal)	Mise en place dans l'utérus (et retrait) par un médecin ou une sage femme.

***Tableau résumant** est diversifié et aisé en France, mais ce n'est pas le cas partout.*
R: remboursé par la sécurité sociale. G: gratuit dans les centres du planning familial. (*) Depuis le 9 janvier 2002, le décret nº 2002-39 oblige les pharmacies à distribuer gratuitement la pilule du lendemain aux mineures. Tarifs indicatifs en mai 2012. Tableau RR.

À RETENIR: La contraception est l'ensemble des moyens réversibles permettant d'éviter une grossesse en ayant des rapports sexuels. Elle utilise plusieurs méthodes:
- certaines sont mécaniques, comme les préservatifs qui isolent physiquement les organes sexuels, donc les gamètes, ne permettant pas la fécondation et assurant ainsi une protection contre les infections sexuellement transmissibles.
- d'autres sont chimiques, utilisant des hormones ovariennes (pilules, implant, timbres, certains DIU...) ou des éléments toxiques pour les spermatozoïdes (DIU au cuivre).
Les DIU agissent également en bloquant une nidation éventuelle.

Site présentant des éléments permettant de choisir sa contraception

LA «GUERRE» DE «LA» PILULE.

2 - Une histoire de femmes

M. Sanger correspond avec Catherine Mc Cormick, une féministe, première femme a avoir été diplômée de biologie de l'institut de technologie du Massachusetts, et qui détient une grande fortune.

En 1953, elles vont soutenir et financer les recherches que le Dr Pincus vient de débuter pour créer une pilule contraceptive (aucun laboratoire ne désirant se risquer à créer un contraceptif).

En 1954, cette pilule est testée à Puerto Rico par le Dr J. Rock, qui avait écrit un livre en faveur de la contraception. D'autres tests sont réalisés à Mexico et à Haïti. Ce contraceptif sera disponible dans certains états des USA, sous le nom «Enovil», dès 1959, comme «*médicament contre les désordres du cycle menstruel*», puis dès l'année suivante, très officiellement, comme moyen de contraception.

3 - Une liberté fragile.

Les autres états et les pays européens autoriseront l'usage de la pilule les uns après les autres, mais en France il faudra vaincre de nombreuses oppositions politiques et religieuses. Ce n'est qu'en décembre 1967 que la loi proposée par le député L. Neuwirth va autoriser la vente de contraceptifs (dont la pilule) mais en limitant leur publicité et en les réservant à l'usage des adultes (plus de 21 ans à l'époque). Toutefois, des membres de l'administration vont volontairement retarder l'application de cette loi, refusant en fait aux femmes une certaine «liberté sexuelle». Il faudra 7 ans pour qu'en décembre 1974, grâce au ministre de la Santé Mme Simone Veil, la pilule devienne réellement accessible aux femmes, majeures ou non, et soit remboursée par la sécurité sociale.

Actuellement, bien que d'autres contraceptifs hormonaux plus sécurisants soient au point (implants, timbres...) la pilule reste l'un des plus utilisés. Toutefois, elle symbolise tellement la liberté sexuelle des femmes que dans de nombreux pays son usage est encore interdit. En France même, le libre usage de la pilule rencontre encore des résistances tant dans les milieux religieux que dans certains partis politiques.

QUESTIONS DE COURS

1/ Qu’est-ce que la contraception ?

2/ Comment agit «la» pilule ?

3/ Pourquoi les préservatifs permettent-ils d’éviter les IST ?

4/ Pourquoi aucune méthode de contraception n’est elle sûre à 100 % ?

5/ Qu’est-ce qu’une hormone ?

6/ De quand date la pilule contraceptive pour les femmes ?

COLLES

1/ Quel sexe a été le plus mis à contribution par les anciennes méthodes de contraception (expliquer, selon vous, quelles en sont les raisons) ? (3 pts)

2/ En 1791, dans son roman Justine, le marquis de Sade décrit ainsi la façon dont son héroïne, soumise aux bons plaisirs de nombreux nobles, peut éviter les grossesses:

« *- L'état de grossesse, révéré dans le monde, est une certitude de réprobation parmi ces infâmes (...): ce que je te dis ici doit te suffire pour t'engager à te préserver de cet état le plus longtemps possible.*

– Mais le peut-on ?

– Sans doute, il est de certaines éponges… »

Comment des éponges pouvaient-elles avoir un rôle contraceptif ? Cette méthode vous parait elle fiable (expliquez pourquoi) ? (4 pts)

3/ A partir des informations de ce chapitre, construisez une frise chronologique montrant les périodes où les différents types de contraception ont été utilisés (4 pts).

EXERCICES

1 - Grenades (5 pts)

Il y a 4000 ans, les femmes de l'Égypte antique utilisaient comme contraceptif une poudre qu’elles mangeaient, et qui était obtenue à partir de graines de Grenade moulues. Cette poudre, bien que moins efficace que les moyens actuels, avait un effet réel.

11 - Quelle substance doivent contenir les graines de grenade pour expliquer leur effet contraceptif ?.

12 - Pourquoi l’effet obtenu n’était-il pas aussi certain et reproductible qu’avec les moyens modernes correspondant à ce type de contraception ?

2 - Monsieur G (6 pts)

En 1928, après les recherches confidentielles du Dr Richter, le médecin allemand Ernst Graffenberg met au point un contraceptif à placer dans l’utérus: c’est un simple anneau de fils métallique (70 % d’argent et 30 % de cuivre) de 1,5 cm de diamètre. Comme le régime politique des nazis va interdire la contraception, Graffenberg partira aux USA, où sa découverte sera reprise par H. Hall et M. Stone qui vont mettre au point un anneau en acier inoxydable. Au Japon, à la même époque, le Dr T. Ota met au point de son côté un anneau d’argent ou d’or qui lui aussi se place dans l’utérus.

21 - Quel est le nom de ce type de contraceptif ? Comment fonctionne t’il ?

22 - Pourquoi lui avoir donné une forme en anneau ?

23 - Quelle est la particularité (et l’intérêt) des matériaux employés ? (Faites appel à vos connaissances de physique).

3 - un charmant petit monstre (3 pts)

Durant l'été 1953, la jeune Françoise Quoirez (qui prendra le nom d’écrivain de Françoise Sagan) écrit à 18 ans son premier roman, <u>bonjour tristesse</u>, qui fera scandale. Quelques années plus tard, la romancière écrit « *j'ai été très surprise du scandale que ce livre a suscité. Pour les trois quarts des gens, le scandale de ce roman, c'était qu'une jeune femme puisse coucher avec un homme sans se retrouver enceinte, sans devoir se marier.*»

31 - Pourquoi, au cours des années 1950, la situation décrite par la romancière se devait de faire scandale ?

32 - Quel moyen de contraception a modifié en profondeur la façon de voir de la société française depuis cette époque ?

4 - Un mauvais bouclier (4 pts)

Dans les années 1950, aux USA, Dr Jack Lippes popularise fortement le stérilet en mettant au point des modèles en matière plastique (en forme de serpentin), facile à mettre en place,et qui sont munis d’une cordelette de nylon facilitant leur retrait. De nombreux autres modèles de stérilet sont mis en vente, de forme diverse, dont, en 1971, le Dalkon Shield, mis en vente par la Dalkon corporation, aux USA. En quelques années, ce stérilet va causer un nombre anormal de complications et d‘infections. Ces infections font suite à d'autres, provoquées par un stérilet en forme de ressort, le Majzlin Spring, et vont donner

lieu à un procès retentissant. A la suite de cette affaire, les stérilets vont avoir mauvaise réputation.

41 - Comment un stérilet peut il provoquer une infection ? Proposez une hypothèse logique.

42 - En fonction de votre hypothèse précédente, proposez une ou plusieurs mesures permettant d'éviter ou de diminuer les risques d'infection.

5 - Métal gestant (5 pts)

Au Chili, en 1969, le Dr Jaime Zipper effectue une série d'expériences visant à étudier le rôle éventuel du cuivre comme contraceptif. Pour cela, il utilise des lapines, qui possèdent un utérus en forme de Y. Zipper place un fil de cuivre dans l'une des branches de cet utérus en Y, et constate alors que dans la branche de l'utérus contenant le cuivre il se développe bien moins d'embryons (les lapines portant plusieurs embryons à la fois) que dans l'autre branche.

51 - Au point de vue expérimental, quel rôle joue la branche de l'utérus qui ne reçoit pas de cuivre ?

52 - Proposez une hypothèse logique permettant d'expliquer l'effet du cuivre.

53 - Afin d'éviter les problèmes d'expulsion accidentelle des stérilets, le Dr H. Tatum met au point un stérilet plastique d'une forme nouvelle: un «T». Avec cette forme, le stérilet reste bien en place, mais Zipper, qui le teste sur des femmes volontaires, montre qu'il est bien moins efficace: au bout d'un an, 18% des femmes qui l'utilisent ont une grossesse! Zipper pense alors aux résultats obtenus sur ses lapines, et pour augmenter l'efficacité du stérilet de Tatum, il entoure la branche montante du «T» d'un fil de cuivre. Tatum et Zipper mettent ainsi au point, en 1969, le premier stérilet moderne. Toutefois, il subsiste un problème: parfois, le volume des règles est augmenté par ce stérilet, ce qui le rend très inconfortable.

En utilisant vos connaissances, proposez un moyen permettant de diminuer ou de stopper ces règles trop abondantes.

6 - Une brève histoire de la Progestèrone (11 pts)

A la fin du 19e et au début du vingtième siècle, plusieurs réservations et expériences clarifièrent le rôle des ovaires. En voici quelques-unes.

61 (*2 pts*) - Dans les années 1890, G. J. Born, biologiste spécialiste des embryons, à Breslau, en Allemagne, et L. A. Prenant à Nancy, en France; remarquent qu'une structure de l'ovaire, le corpus luteum, ressemble aux autres structures de l'organisme qui produisent des hormones. De plus, cette structure grossit et se développe dans l'ovaire pendant tout le début de la grossesse.

Quelle hypothèse peut-on faire sur le rôle de ce corpus luteum au vu des observations précédentes ?

62 (*2 pts*) - Après la mort de Born, ses collègues L. Fraenkel et F. Cohn poursuivent ses travaux. Ces deux chercheurs montrent que si les ovaires d'une lapine sont enlevés dans les six jours après l'ovulation, elle ne peut pas devenir gravide (enceinte). Que peut-on déduire de cette expérience ?

63 (*2 pts*) - En 1928, à l'université de Rochester, G.W. Corner montre chez le lapin que s'il enlève le corpus luteum d'un ovaire alors qu'un embryon vient de s'implanter dans l'utérus, ce dernier ne peut pas se développer et la grossesse se termine.

Que peut-on déduire de cette expérience ?

64 - (*5 pts*) En 1929, G.W. Corner et W. M. Allen parviennent à isoler une hormone présente dans le corpus luteum, qu'ils appellent progestine. L'année suivante, ils montrent chez le lapin que des injections d'extraits de corpus luteum permettent de maintenir la grossesse d'une lapine à laquelle on a enlevé les ovaires quelques jours après qu'elle ait été fécondée.

Que peut-on déduire de cette expérience ?

Allen vérifie ensuite que la progestine déclenche la croissance de la muqueuse de l'utérus. Pourquoi a t'il effectué cette vérification, et quelle est donc l'hormone qui a été isolée par ce chercheur (donnez son nom actuel et expliquez votre réponse)?

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ La contraception est l'ensemble des moyens réversibles qui permettent d'empêcher une grossesse en cas de rapport sexuel.
2/ «La» pilule agit au moyen d'hormones qui bloquent l'ovulation, provoquent la formation d'un bouchon gluant à l'entrée de l'utérus et amincissent sa muqueuse de façon à rendre plus difficile une éventuelle nidation.
3/ Les préservatifs permettent d'éviter les IST car ils empêchent le contact physique entre les organes sexuels et dont également entre les sécrétions sexuelles qui peuvent contenir les micro-organismes responsables de ces infections.
4/ Aucune méthode de contraception n'est sûre à 100 % car leur efficacité dépend de leur utilisation par des humains, qui ne sont pas fiables à 100 %! Par exemple, un préservatif peut être mal mis, ou retiré trop tard; une pilule peut être «oubliée», un stérilet peut, parfois, mal fonctionner, ne pas tuer assez de spermatozoïdes et laisser un embryon se développer...
5/ Une hormone est une substance produite par un organe, libérée dans le sang qui la transporte, et qui va modifier le fonctionnement d'un organe sensible à cette hormone, et que l'on appelle un organe cible.
6/ La pilule contraceptive pour les femmes a été mise au point en 1964. En France, elle n'a été largement et facilement disponible qu'en 1975.

COLLES

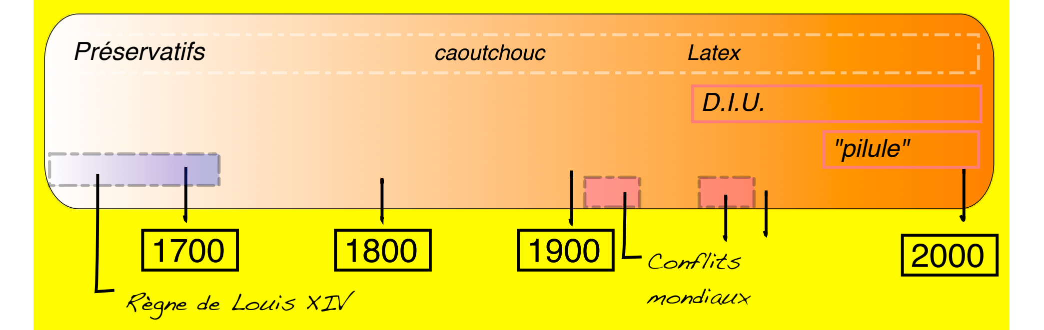
1/ Ce sont les femmes qui ont été les plus mises à contribution par les anciennes méthodes de contraception. Les raisons en sont simples: à une époque ou rien n'obligeait les hommes à reconnaitre leur paternité, ce sont elles qui avaient le plus à «perdre» dans une grossesse non désirée, et donc qui constituaient la population qui recherchait le plus de moyens de contraception. Il y a également d'autres raisons, comme le fait que dans le passé la femme était regardée comme «seule responsable» de sa grossesse, et devait donc, seule, s'en protéger.

2/ En 1791, des éponges pouvaient être utilisé comme contraceptif. En effet, des éponges permettaient d'absorber le sperme à l'intérieur du vagin, et l'on pouvait croire qu'ainsi, les risques de grossesse étaient diminués.

Bien entendu, cette méthode n'était absolument pas fiable: il y a tellement de spermatozoïdes libérés lors d'une éjaculation, et un seul suffisant à réaliser la fécondation, qu'il y avait peu de chance de les éliminer tous avec une simple éponge.

Remarque: Bien que vous ne puissiez le deviner, il y avait également à l'époque une méthode plus efficace utilisant des éponges, mais celles-ci, avant d'être mises en place dans le vagin, étaient imbibées d'un produit qui tuait les spermatozoïdes (ce que l'on ne savait pas à l'époque). Toutefois, ce produit causait de nombreuses infections et irritations.

3/ Frise chronologique montrant les périodes où les différents types de contraception ont été utilisés.
Il y a plusieurs façons de réaliser cette frise, le problème étant qu'elle doit comporter des dates anciennes et modernes en même temps. Il suffit de ne pas les reporter dessus de façon proportionnelle, mais de «dilater» la seconde moitié du vingtième siècle. Vous devriez avoir obtenu une frise qui ressemble à celle-ci :



EXERCICES

1 - Grenades (5 pts)
11 - Les graines de grenade étant consommées, leur effet contraceptif ne peut s'expliquer que si elles contiennent un produit capable d'agir à distance sur les ovaires: ces graines doivent donc contenir un produit semblable aux hormones ovariennes (si vous avez bien lu le manuel, le fait qu'une plante puisse contenir une hormone ne doit pas vous étonner, puisque de la progestérone a été extraite de la racine d'une plante mexicaine...)

12 - L'effet obtenu n'était pas aussi certain et reproductible qu'avec les moyens modernes de contraception hormonale car la quantité d'hormone dans la poudre

était faible, de plus elle variait selon les quantités et les saisons, et son apport dans l'organisme n'était sans doute pas assez régulier.

2 - Monsieur G (6 pts)

21 - Ce contraceptif est un dispositif intra-utérin (D.I.U., aussi appelé stérilet). Il fonctionne en tuant les spermatozoïdes (car il contient du cuivre) et en empêchant une éventuelle nidation.

22 - Il suffit de réfléchir un peu pour trouver l'intérêt de cette forme: comme le DIU de Graffenberg est en métal, il faut pourvoir le mettre en place dans l'utérus: la forme en anneau permet de le guider sans «accrocher». Ensuite, une fois en place, il ne risque pas d'irriter l'intérieur de l'utérus. Vous pouvez aussi penser que la forme en anneau permet de l'attraper plus facilement pour le retirer, si le besoin s'en fait sentir.

23 - Les matériaux employés (argent, or, alliage argent/cuivre, acier inoxydable) ont la particularité de résister à l'humidité (ils ne s'oxydent que peu, ou lentement). Or, ils sont soumis à chaque cycle au flux des règles, et doivent donc résister à l'humidité du sang.

3 - un charmant petit monstre (3 pts)

31 - Pendant les années 1950, en France, aucun moyen de contraception n'était officiellement disponible. En faire la publicité était interdit, quant à les proposer à des mineurs (moins de 21 ans à l'époque), il ne fallait pas y penser. C'est pour cela que la situation décrite par F. Sagan dans son roman fit scandale: elle montrait qu'une jeune fille pouvait avoir une vie sexuelle sans être «punie» par une grossesse!

32 - Le moyen de contraception qui a modifié en profondeur la façon de voir de la société française depuis cette époque est la pilule contraceptive.

4 - Un mauvais bouclier (4 pts)

41 - Pour répondre à cette question, il suffit d'être le plus logique et le plus simple possible: pour provoquer une infection, il faut des microbes. On peut imaginer la chose suivante: si un DIU n'est pas «désinfecté» (stérile, dans les sens qu'il ne contient pas de microbes), alors il pourra transporter des bactéries là où elles ne devraient pas être (ici, dans l'utérus). Dans cet environnement qu'ils n'auraient pu atteindre seuls, les microbes pourront se multiplier et déclencher des infections.

42 - Une mesure permettant d'éviter ou de diminuer les risques d'infection est tout simplement d'utiliser des DIU désinfectés, et même aseptisés (c'est à dire débarrassés de leurs microbes par un traitement chimique ou physique).
Une autre mesure pourrait être de surveiller régulièrement l'état de santé d'une femme portant un DIU afin de détecter au plus vite une infection éventuelle.

Remarque: l'affaire du Dakon Shield a donné mauvaise réputation aux DIU, mais il est apparu qu'en fait les infections causées par ce DIU étaient majoritairement dues à une taille trop importante du DIU et à une mauvaise mise en place de ce dernier par les médecins. Actuellement, les DIU sont un moyen de contraception pratique et sûr.

5 - Métal gestant (5 pts)

51 - La branche de l'utérus qui ne reçoit pas de cuivre joue dans cette expérience le rôle de témoin.

52 - On peut proposer plusieurs hypothèses pour expliquer l'effet du cuivre:
- Le fil de cuivre peut agir comme un DIU, en gênant la nidation des embryons qui ne peuvent se développer
- Le cuivre est peut-être toxique pour des embryons, qui sont tués avant la nidation et sont donc éliminés sans être visibles.
- Le cuivre peut aussi être toxique pour les spermatozoïdes, ces derniers meurent alors en remontant la corne de l'utérus où le fil est présent, ce qui diminue les chances de fécondation et donc le nombre d'embryons qui peuvent se former (c'est là l'effet réel du cuivre, mais les autres hypothèses, parfaitement logiques, sont bien entendu correctes!).

53 - On recherche un moyen permettant de diminuer ou de stopper les règles trop abondantes. Ors, c'est ce que réalise la pilule contraceptive, ou plus exactement els hormones qu'elle apporte: il faut donc ajouter au DIU des hormones qui seront libérées progressivement dans l'utérus lui-même, et diminueront l'importance de la muqueuse (ces DIU hormonaux existent, et peuvent même entrainer la disparition totale des règles, ce qui ne pose aucun problème de santé).

6 - Une brève histoire de la Progestèrone (11 pts)

61 - La structure observée dans l'ovaire, le corpus luteum, ressemble aux autres structures de l'organisme qui produisent des hormones. On peut donc logiquement faire l'hypothèse que cette structure produit une ou plusieurs hormones.

Comme le corpus luteum grossit pendant le début de la grossesse, on peut supposer que les hormones qu'il produit sont liées à cette dernière: comme il en produirait de plus en plus, sa taille augmenterait progressivement comme observé.

62 Fraenkel et Cohn enlèvent les ovaires d'une lapine dans les six jours après l'ovulation. Les ovules ont donc été libérés. Ils peuvent être fécondés. Pourtant, il n'y a pas de grossesse. On peut en déduire que les ovaires sont nécessaires au déclenchement (et à la poursuite?) d'une grossesse. On peut donc aussi supposer que ce sont les hormones produites par les ovaires qui sont indispensables au début de la grossesse.

63 - G.W. Corner montre donc que c'est la présence du corpus luteum dans un ovaire qui est indispensable en début de grossesse. On peut donc déduire de cette expérience que c'est le corpus luteum qui fabrique les substances (hormones) nécessaires au déclenchement et à la poursuite de la grossesse.

64 - Corner et Allen ont trouvé une hormone, baptisée progestine, dans le corpus luteum. Des injections d'extraits de corpus luteum maintiennent normalement la grossesse d'une lapine à laquelle on a enlevé les ovaires quelques jours après qu'elle ait été fécondée. Les expériences précédentes ont montré que normalement, dans cette situation, la grossesse s'interrompt.
On peut donc en déduire que l'extrait de corpus luteum «remplace» les ovaires absents, ce qui confirme bien que c'est cette structure qui fabrique la ou les hormones nécessaires en début de grossesse.
Il apparait alors que le corpus luteum fabrique bien la progestine, une hormone qui permet le début de la grossesse.

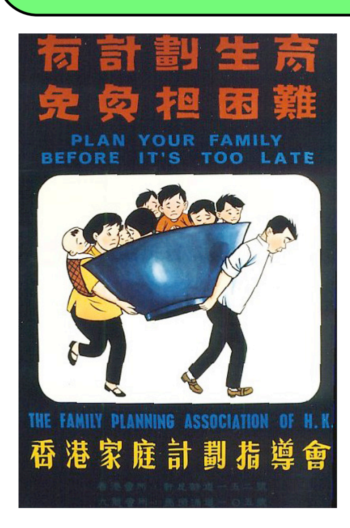
Allen a vérifié ensuite que la progestine déclenche la croissance de la muqueuse de l'utérus, car la croissance périodique de la muqueuse fait partie du fonctionnement normal de l'utérus: cela permet de savoir si la progestine est produite uniquement en cas de grossesse, ou bien si cette hormone est aussi fabriquée en dehors de toute fécondation (ce qui est le cas). De plus, cet effet permet d'expliquer l'absence d'embryon, car sans progestine, la muqueuse ne se développe pas (ou pas assez) et ne permet donc pas la nidation de l'embryon.

Le nom actuel de la la progestine est progestérone, cette dernière ayant bien sur la muqueuse de l'utérus les effets constatés par l'injection de progestine (dans l'extrait de corpus luteum) et étant bien fabriquée par les ovaires.

Avortement et contraception.

Souvent, à l'occasion de débats, la contraception et l'avortement sot liés. Cela tient davantage à l'l'histoire qu'à la biologie: la loi française de 1920 interdisait les deux, et celles et ceux qui se sont battus pour le droit à la contraception étaient les mêmes qui se battaient pour un certain droit à l'avortement. De quoi s'agit-il ? L'avortement est une action volontaire visant à détruire un embryon avant qu'il n'ait eu le temps de se développer de façon importante. On réalise alors une interruption volontaire de grossesse (IVG).

On pourrait dire que le but de la contraception étant d 'éviter les grossesses non désirées, elle évite donc aussi d'être contrainte à un avortement. Toutefois, certaines méthodes de contraception peuvent éventuellement agir sur un embryon non encore implanté dans l'utérus; en évitant justement la nidation (un échec qui, naturellement, se produit deux fois sur trois). Dans l'esprit de ceux pour qui une sphère de quelques dizaines de cellules et d'une fraction de mm est un être humain nantis des droits d'un adulte, il y a alors confusion entre avortement et contraception, et ils s'opposent aux deux; mais, le plus souvent, cette opposition n'est pas rationnelle et se base en fait sur le refus que les femmes puissent être pleinement libres et responsables de leurs corps et de leur sexualité.



La contraception a été utilisée non seulement pour éviter les grossesses non désirées (ci-dessous, illustration du magazine «le contrôle des naissances» en 1923) mais aussi pour limiter le développement démographique, comme sur cette affiche de Hong Kong datant des années 1970. Doc. Wikimedia.





Glossaire

Détail d'une boite de pilules contraceptives. Document original Wikimedia.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donnés ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Anesthésie : arrêt temporaire et réversible de la sensibilité d'une partie du corps ou de la totalité de celui-ci. On «endort» une partie du corps ou le malade en entier.

avortement: interruption d'une grossesse. Il peut être spontané et passer inaperçu (c'est le cas pour 2/3 des embryons qui ne parviennent pas à réussir la nidation), involontaire («fausse couche») résultant d'un défaut de l'embryon ou des annexes, ou d'un accident; ou bien encore volontaire (I.V.G.), dans un cadre défini alors par la loi et variable selon les pays.

Contraception : ensemble des méthodes réversibles ayant pour but d'empêcher une grossesse en cas de rapport sexuel.

Diplomate : personne spécialiste des négociations entre états, permettant de résoudre les problèmes sans faire appel à des méthodes violentes.

DIU : Dispositifs Intra Utérins, objets qui sont placés dans l'utérus et qui y exercent une action contraceptive. Les DIU étaient auparavant appelés stérilets.

Epidémie : transmission rapide et facile d'une maladie à un grand nombre de personne.

Fécondité : capacité à pouvoir se reproduire

Gamète : cellule spécialisée dans les fonctions de reproduction (spermatozoïdes et ovules chez les animaux)

glaire : substance visqueuse, collante et gluante fabriquée au niveau du col de l'utérus et pouvant jouer un rôle de «bouchon sélectif» contre les spermatozoïdes (seuls ceux en «bon état» arrivant à la traverser). Si la glaire est abondante ou d'une consistance plus épaisse, elle peut même fortement gêner le passage des spermatozoïdes, exerçant alors un effet contraceptif.

Hormone : substance produite par un organe, libérée dans le sang et transportée par ce dernier. Elle agit à distance sur un organe (où un ensemble d'organes) qui est sensible à l'hormone, un organe cible dont elle modifie le fonctionnement.

Implant : contraceptif hormonal que l'on injecte sous la peau et qui y reste plusieurs années, libérant régulièrement des hormones ovariennes.

Indubitable: qui ne fait aucun doute.

Infanticide : meurtre d'un enfant

Inoxydable : se dit d'un métal qui «résiste» à l'action de l'oxygène, autrement dit qui ne s'oxyde pas, contrairement au fer, par exemple, qui rouille.

IST : Infection Sexuellement Transmissible

Légalisation : action de rendre légal, «permis» une chose ou une action qui auparavant ne l'était pas.

Manifeste : déclaration écrite et publique dans laquelle un groupe expose ses idées, ses propositions ou un programme d'action.

Minidosées : se dit des pilules contraceptives qui contiennent des doses minimales d'hormones. Le plus souvent, ces doses sont variables (on peut ainsi trouver dans le cycle, successivement trois types de pilules différentes, qui sont souvent distingués par des couleurs différentes.). Ces pilules ont l'avantage de minimiser les effets secondaires éventuels de la contraception hormonale.

MIT : Massachusset Institute of Technology. Célèbre université des USA, près de Boston, considérée comme l'une des meilleures au monde pour les sciences et la technologie.

moeurs : façon de se comporter.

muqueuse : Couche de cellules qui recouvre l'intérieur d'un organe creux, et présente la particularité de pouvoir fabriquer un liquide gluant, le mucus.

Parlementaires : Personnes élues, membres d'un «parlement», c'est à dire, en France, les députés et les sénateurs.

Physiologie: fonctionnement des organismes vivants.

préconiser : conseiller

Réprobation : critique, absence d'approbation, d'accord avec une opinion ou une pratique.

révérer : traiter avec un grand respect.

rituels : Habituel, qui se produit et se répète continuellement de la même manière, comme un rite.

Tragique : qui finit mal, concernait à l'origine la fin des pièces de théâtre dont les héros mourraient à la fin.



Autour de la contraception

Fragment d'un D.I.U. au cuivre . *Document original Wikimedia.*

Poème

Voici un texte particulier: en 1971, un groupe de 343 femmes, dont certaines très célèbres, publièrent dans le magazine «le nouvel observateur» un manifeste réclamant le libre accès aux moyens de contraception et la légalisation de l'avortement. Une des signataires de ce manifeste avait écrit le texte suivant (adressé au législateur, c'est à dire, en fait, à ceux qui décident les lois - les députés - et à ceux qui les font appliquer), publié en première page de ce manifeste:

J'ai signé

J'ai signé parce que :
J'ai signé parce que j'ai perdu trop de sang et vous voudriez en plus que je me taise.
C'est fini ça. Maintenant on parle. Monsieur le législateur qu'est-ce que tu as comme sang sur les mains et tu ne t'en aperçois même pas, tu te promènes comme ça.
Mais on va te mettre le nez dedans.
La loi dit: tous sont égaux devant la loi.
Et puis ta loi frappe sélectivement une seule catégorie. Et puis tu prends des airs de moraliste.
Tricheur.
Tu codifies mes fonctions physiologiques.
Tu décris en détail ce qui se passe à l'intérieur de mon ventre.
Tu mets ça dans le « Journal officiel »
Quelle indécence.
Et c'est de moi que tu exiges de la pudeur.
C'est comme ça que tu appelles mon silence qui t'arrange bien.
Hypocrite.
Mais le silence est rompu.
On te montre du doigt. Et tout le monde va voir ton vrai visage.
Quelle horreur.

Une signataire

Idées de lecture

Bonjour tristesse de F. Sagan, ed. pocket

Contraception: Pourquoi ? Laquelle ? Où ? : C'est moi qui décide. Marie-Laure Brival & Sophie Lebot. Ed. Milan

La fabrique des filles : L'éducation des filles de Jules Ferry à la pilule

Rebecca Rogers et Françoise Thébaud, ed. textuel

Idées de films

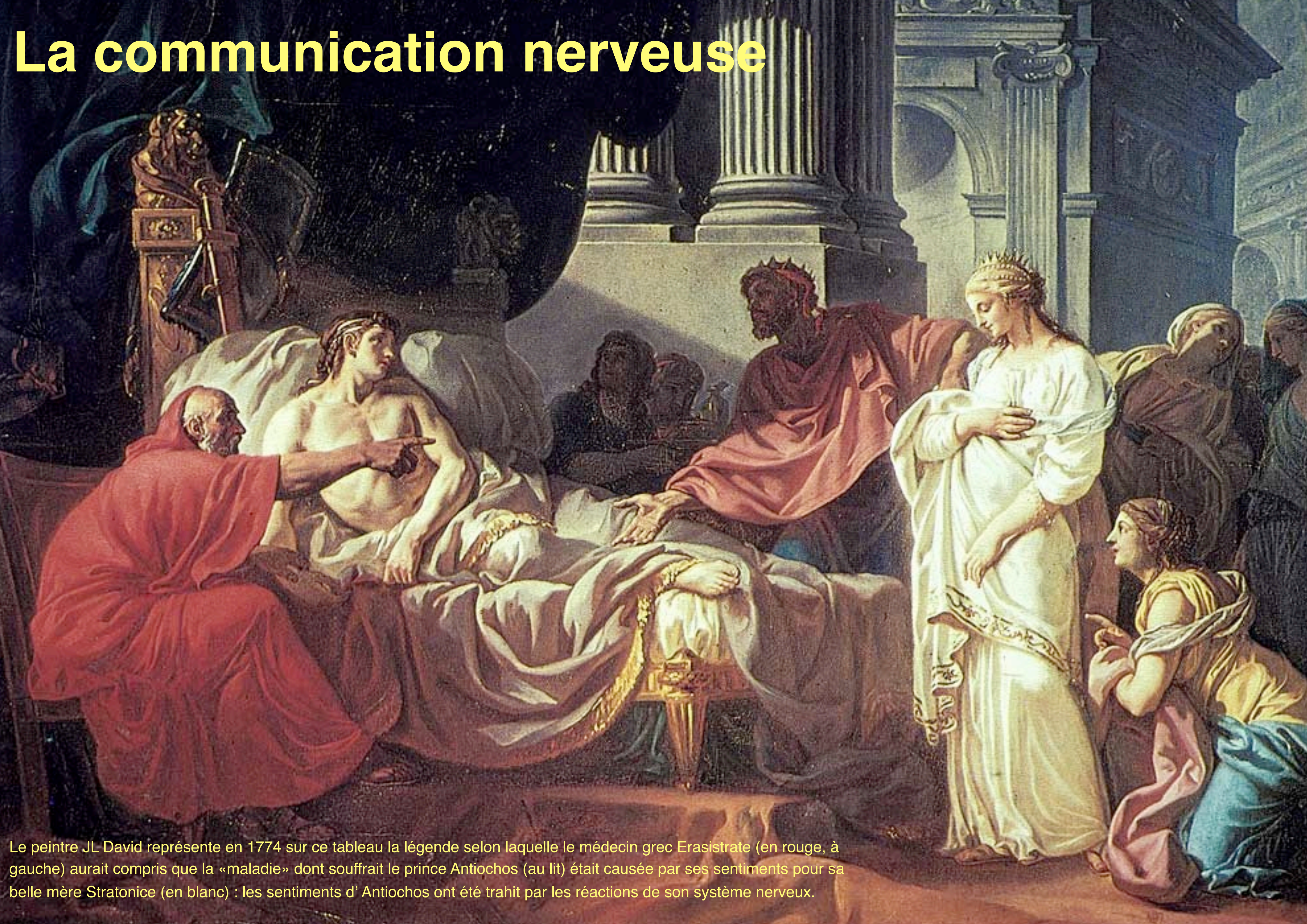
Une affaire de femmes, de C. Chabrol, 1988

Victoire ou la douleur des femmes. téléfilm en trois parties réalisé par N. Trintignant en 1999

Le procès de Bobigny, de F. Luciani, 2006

DVD documentaires

L'odyssée de l'amour, de T. Binisti, 2005
Que se passe t'il dans notre organisme lorsque nous devenons amoureux ?



Le peintre JL David représente en 1774 sur ce tableau la légende selon laquelle le médecin grec Erasistrate (en rouge, à gauche) aurait compris que la «maladie» dont souffrait le prince Antiochos (au lit) était causée par ses sentiments pour sa belle mère Stratonice (en blanc) : les sentiments d’ Antiochos ont été trahit par les réactions de son système nerveux.

INTRODUCTION

Que ce soit pour jouer ou pour survivre, l'homme, comme tout animal, doit être sans cesse attentif à une multitude de signaux et d'informations en provenance de son environnement. C'est en analysant ces informations qu'il pourra agir de manière adaptée, et ce, en vue de réaliser les différentes fonctions de l'organisme :

- se nourrir : pour cela il faut trouver, identifier et attraper de la nourriture !
- se reproduire : il faut trouver et séduire un partenaire !
- se protéger en réagissant pour favoriser le combat... ou la fuite !
- maintenir sans même avoir, en apparence, à y penser, des niveaux constants pour certains paramètres de l'organisme comme la température ou la quantité d'eau…

Un individu peut répondre aux signaux de l'environnement de différentes manières. Le mouvement, volontaire ou involontaire, en est une. Il met en jeu la musculature de l'organisme. Comment ce mouvement est-il commandé ? Où la décision en est-elle donnée ? Comment se fait le lien entre les signaux perçus et la réponse qui est donnée en conséquence, par exemple entre le signal de départ de la course, et la mise en mouvement du sprinter ? Comment se fait la communication, au sein de l'organisme, entre son oreille, qui capte le son, et ses jambes, qui assurent ce mouvement ? Comment les muscles peuvent-ils répondre à la volonté de l'athlète ?

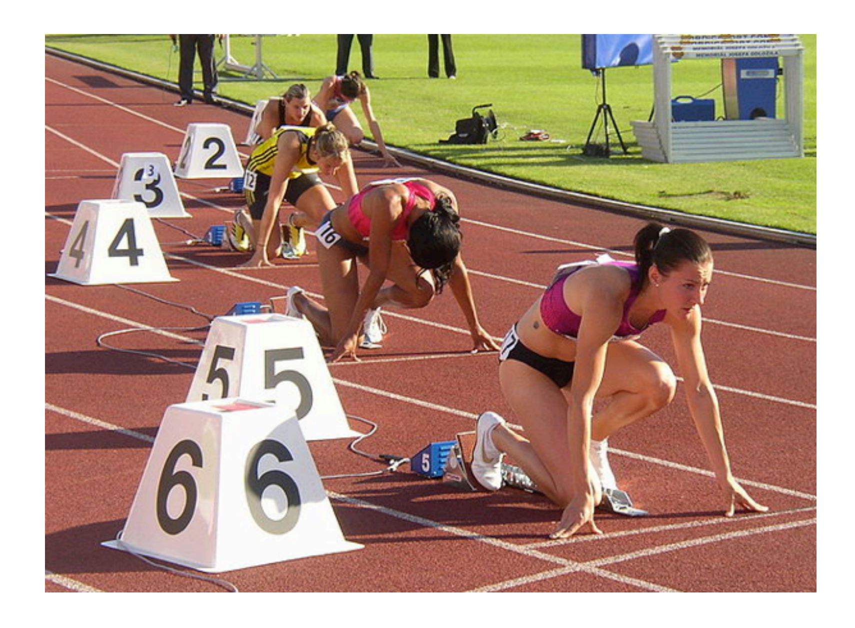
C'est en étudiant le système nerveux que nous allons pouvoir répondre à toutes ces questions. L'organisme est capable de détecter des signaux très divers, externes (lumière, son, odeur…), mais aussi internes (douleur, sensation de faim, pensées…). Nous verrons comment cette perception est possible, et la manière dont le système nerveux contrôle le comportement et les différentes fonctions du corps.

À la fin de ce chapitre, vous saurez expliquer :

- comment nous percevons notre environnement ;
- comment est assurée la commande d'un mouvement ;
- comment les centres nerveux et les organes sont en communication ;
- ce que sont les nerfs et la manière dont ils sont organisés.

Bon voyage !

Action, réflexion… Comment notre organisme est-il capable de décider d'un geste, et de le mettre en œuvre ? Le système nerveux, dont le cerveau fait partie, est au cœur de ces processus.





Le joueur d'échec I. Sokolov, après avoir longuement analysé la situation, s'apprête à jouer un coup décisif.
Les sportives sont concentrées... Dès que le signal du départ retentira, elles vont s'élancer...

Dans les deux cas, le système nerveux est aux commandes. Comment agit-il ? Docs. Wikimedia.

SOMMAIRE

1. Le système nerveux permet une communication entre les organes

Le système nerveux assure la commande des mouvements en reliant les organes sensoriels et les muscles

Des récepteurs permettent à l'organisme d'être sensible aux stimulations extérieures

Les nerfs transmettent l'information entre organes et centres nerveux

2. Les centres nerveux reçoivent, analysent et fabriquent des messages

Les centres nerveux sont constitués de cellules spécialisées, les neurones

Le cerveau est un centre nerveux qui analyse les messages nerveux sensitifs et leur répond en fabriquant des messages nerveux moteurs

3. Le fonctionnement des centres nerveux peut être perturbé

Des situations particulières et la consommation de certaines substances altèrent le fonctionnement des centres nerveux.

Les récepteurs sensoriels peuvent être endommagés par des agressions de l'environnement



Dès la préhistoire, le système nerveux, et plus particulièrement le cerveau, a intrigué les humains, qui ont cherché à «intervenir» lorsque ce dernier ne fonctionnait pas convenablement. Ce crâne de jeune fille conservé au muséum d'histoire naturelle de Lausanne montre la trace d'une «opération» d'ouverture du crâne pratiquée au silex (!) il y a 5500 ans. L'os montre que la malade a survécu à cette opération, peut être pratiquée pour soulager (?) des douleurs.

Doc Wikimedia/Rama

1 - LE SYSTÈME NERVEUX RELIE LES ORGANES

Le système nerveux assure la commande des mouvements en reliant les organes sensoriels et les muscles

Nous découvrons dans cette partie les structures qui permettent à l'organisme d'élaborer des commandes, et de faire circuler l'information entre plusieurs de ses organes.

Le système nerveux a été mis en évidence très tôt: un papyrus égyptien, écrit il y a 3700 ans, suggérait déjà que le cerveau était relié à des maladies comme la paralysie ou la perte de la parole. C'est toutefois le scientifique Grec Alcméon de Crotone, élève de Pythagore (oui, celui du théorème), qui lui aussi reliait le cerveau à la pensée, qui le premier a disséqué un corps humain, découvrant en l'an - 500 que les yeux étaient reliés au cerveau par des nerfs. Le grec Hippocrate (460-377 av. J.-C.), père fondateur de la médecine, situe lui aussi la naissance des pensées et les sensations au niveau du cerveau : «*les hommes doivent savoir que du cerveau et du cerveau seulement naissent nos plaisirs, nos joies, nos rires et nos plaisanteries aussi bien que nos peines, nos douleurs, nos chagrins et nos larmes* ». C'est toutefois le médecin Grec Hérophile, avec son élève Erasistrate, qui vers - 300 va mettre en évidence, en pratiquant des dissections, l'organisation du système nerveux: il découvre que la plupart des nerfs sont reliés à un organe protégé à l'intérieur des vertèbres, la **moelle épinière**. Cette moelle est elle-même en continuité avec le **cerveau**. On distingue donc :

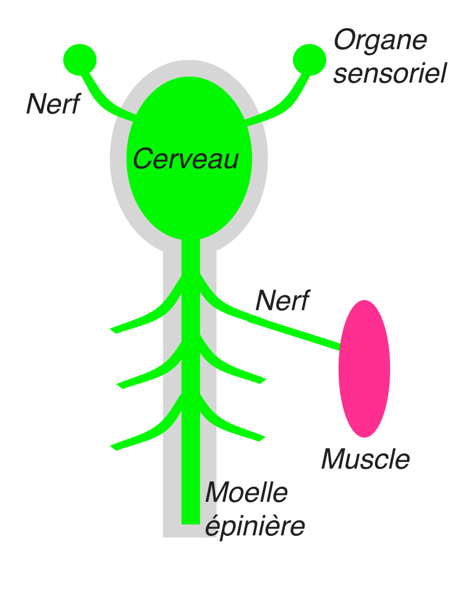
- le **système nerveux central**, qui regroupe le cerveau et la moelle épinière ;
- le **système nerveux périphérique** formé des nerfs et d'autres organes

Les nerfs partent du cerveau et de la moelle épinière. Très nombreux, ils se prolongent dans toutes les parties du corps ; si bien que tout organe ainsi grâce à eux reliée à un centre nerveux.

Le fonctionnement de ces centres a fait l'objet, dans l'histoire, de nombreuses hypothèses. Pour Hipppocrate, le cerveau, qui contient des cavités remplies de liquide, fabriquait un liquide qui, en équilibre avec trois autres liquides de l'organisme, était responsable de la santé ou de la maladie. Ces liquides étaient appelés «humeurs», un terme qui est resté dans notre langage (nous pouvons toujours, 25 siècles après Hippocrate, être de bonne ou de mauvaise humeur!). À la même époque, le philosophe Aristote popularise encore cette théorie des humeurs, mais il considère que le cerveau

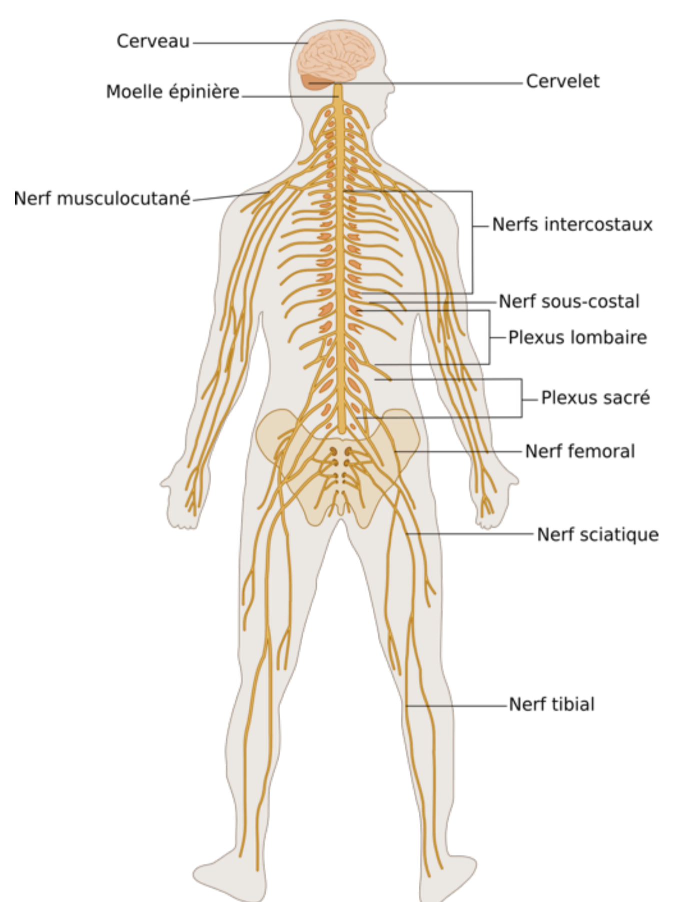


***Représentation des médecins Hippocrate et Galien** sur une fresque de la chapelle bénédictine d'Anagni (Italie, XIIème siècle). Doc [Wikimedia/ Nina Aldin Thune]*



***Organisation schématique du système nerveux:** les organes sont reliés par des nerfs au cerveau ou à la moelle épinière, ces deux centres nerveux étant protégés par le crâne ou par la colonne vertébrale (en gris). Certains nerfs sont reliés aux organes sensoriels alors que ceux qui sont reliés à la moelle épinière aboutissent aux muscles. Schéma RR.*

sert uniquement à refroidir le sang et que les pensées proviennent du coeur (une autre idée erronée qui est restée dans le langage courant: on parle toujours des «raisons du coeur», ou du coeur comme origine des sentiments...). Cette idée d'une circulation de liquides en provenance du cerveau va être reprise et développée 450 ans plus tard par le médecin Grec Galien, qui écrivit de nombreux livres qui servirent de base à la médecine pendant 14 siècles, pour qui les humeurs circulaient dans les nerfs, causant les sensations. Ces idées erronées provenaient de l'observation de dissections réalisées par Galien sur de nombreux animaux (plus ou moins bien conservés) et de ses observations des conséquences des blessures des gladiateurs, dont il fut le médecin.



Principaux éléments du système nerveux humain.
Schéma Wikimedia/theemir, légende MN.

Malgré leurs efforts et la qualité de leurs observations et de leurs raisonnements, qui leur ont permis de bien décrire les divers organes du système nerveux humain (*voir schéma ci-contre*) les médecins de l'antiquité ne disposaient pas des connaissances nécessaires pour comprendre ce qui circule dans les nerfs. Il faudra pour cela attendre l'époque de la renaissance et la mise au point, en 1745 et 1746, de générateurs d'électricité nommés «bouteilles de Leyde». Dès lors, ceux qui conçoivent et utilisent ces bouteilles reçoivent par accident (au début) des décharges électriques, et constatent qu'elles font se contracter leurs muscles. L Caldani, en 1756, montre que les muscles isolés du corps se contractent sous l'influence du courant électrique, mais c'est surtout L. Galvani, dans les années 1770, qui va montrer **qu'un nerf stimulé électriquement provoque la contraction du muscle auquel il est relié** (expériences visibles ici). Dès lors, l'idée que les nerfs conduisent de l'électricité va peu à peu s'imposer. Mais d'où vient cette électricité ?



Vue (grossie) de quelques nerfs. *Extérieurement, les nerfs ressemblent à des vaisseaux sanguins, et si on les coupent quelques gouttes de liquide peuvent s'en écouler, toutes ressemblances qui expliquent les idées de anciens médecins Grecs. Photo Wikimedia/ Adrian Halga*

Webxercice

A partir de ces expériences, essaie de répondre aux questions suivantes : Qu'est-ce qui provoque le saut de la grenouille ?

Par quel organe la grenouille a-t-elle pu détecter ce danger potentiel ?

Que se passe-t-il si le cerveau est lésé ?

Que peut-on en déduire concernant la fonction de cet organe ?

Que se passe-t-il si l'on sectionne le nerf moteur ou la moelle épinière ?

Quel peut être le rôle de ces éléments ?

Et si l'on sectionne le nerf optique ?

La suite du chapitre va te permettre de vérifier l'exactitude de tes hypothèses !

Le système nerveux de la grenouille, un autre vertébré, est assez similaire à celui de l'homme. Une application web permet de simuler quelques expériences sur cet animal, afin de comprendre le fonctionnement du système nerveux.

Des récepteurs permettent à l'organisme d'être sensible aux stimulations extérieures

Le système nerveux et un système de communication relié au milieu extérieur: il détecte les évènements qui s'y produisent, en informe l'organisme et génère les réactions appropriées en réponse aux évènements perçus.
Les signaux (encore appelés stimuli) de l'environnement peuvent être à l'origine d'un mouvement. Un **stimulus** est une information extérieure pouvant être captée par des organes particuliers, les **organes sensoriels**. Le stimulus peut être de nature très variable :

- physique : son, lumière, pression, chaud ou froid ;
- chimique : substance odorante ou gustative.

Chaque organe des sens est «sensible» à un type de stimuli particulier, car il est capable de le détecter et de fabriquer un message à ce sujet pour les centres nerveux. Le tableau suivant répertorie les organes sensoriels ainsi que les nerfs qui les relient aux centres nerveux.

Organe sensoriel	Sens associé	Stimulus	Nerf
Oeil (rétine)	Vue	lumière	Optique
Oreille (tympan)	audition	son	Auditif
Nez	olfaction (odorat)	substances volatiles	Olfactif
Langue (surface)	goût	substances dissoutes dans la salive	Glossophraryngien
Peau	tact (toucher)	température, pression	Nombreux nerfs différents

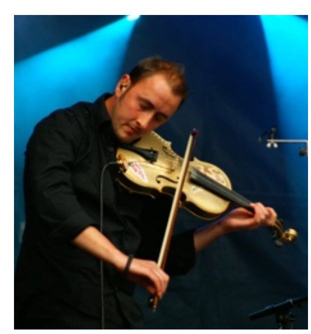
Le **toucher** dispose de récepteurs dispersés dans la peau, certains endroits étant très riches en récepteurs (le bout des doigts par exemple) alors que d'autres sont moins sensibles (comme le dos).

Les organes des sens regroupent de très nombreux **récepteurs sensoriels**, qui sont des cellules particulières capables de **transformer un stimulus en message nerveux**.









Observer ces images. Il est aisé de relier chacune d'elles à un sens particulier , à des informations provenant de notre environnement (sans oublier le sens qui vous permet de les voir!).

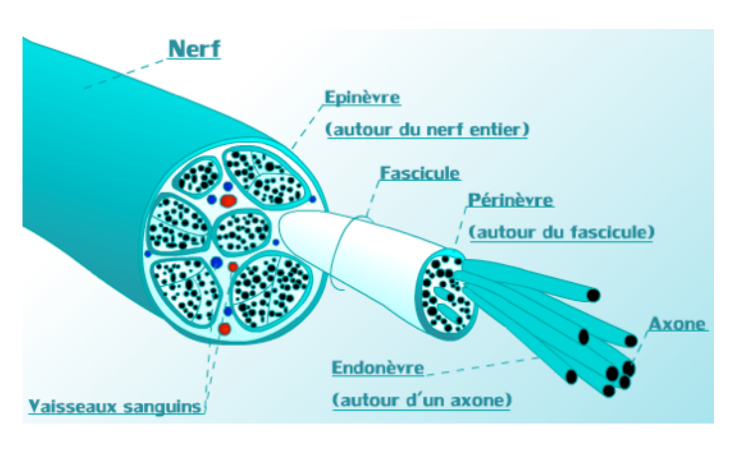
Doc. Wikimedia: Elisabeth Ann Colette / JW Waterhouse / Lotus Head/ Benoit Derrier.

Une expérience rapide: Selon la richesse en récepteur au toucher de la peau, deux contacts proches peuvent être «confondus» en un seul. Pour vous en persuader, écartez les pointes d'un compas d'un cm environ, puis , sur la peau d'un ou d'une camarade qui ferme les yeux, posez en même temps les deux extrémité du compas à différents endroits du corps (sans enfoncer!), en lui demandant si vous la touchez avec une ou deux pointes: vous constaterez que si au niveau des mains les deux pointes sont bien différenciées, ce n'est pas le cas à d'autres endroits du corps.

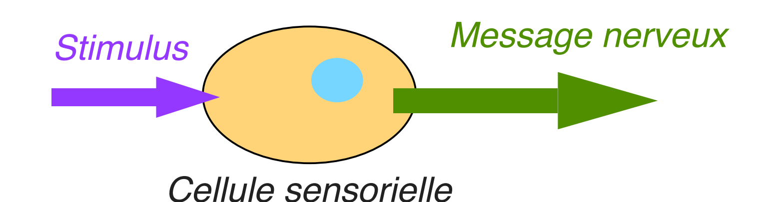
Ainsi, la rétine de l'œil comprend plus de 120 millions de cellules qui permettent la vision de la lumière ou des couleurs. Ces cellules transforment l'intensité ou la «couleur» de la lumière qui les frappe en message nerveux. Les cellules sensorielles de l'oreille sont sensibles à des sons de hauteurs différentes. La surface de la langue présente un réseau complexe de bourgeons gustatifs, sensibles à différents goûts (salé, sucré, acide, amer…). La peau possède également différents récepteurs sensibles à la pression ou à la température.

C'est au niveau de ces récepteurs sensoriels, en réponse à un stimulus reçu, que naît un **message nerveux** que l'on appelle **sensitif**. L'organe sensoriel est en quelque sorte un « codeur » : il traduit un message externe à l'organisme en un message nerveux qui va pouvoir être décodé et utilisé par les centres nerveux. Ainsi, dans l'exemple des sprinteuses abordé en introduction, le stimulus est le signal sonore de départ et l'organe récepteur mis en jeu est l'oreille, qui va fabriquer un message nerveux à destination du cerveau de la sportive. Dans l'exemple de la grenouille, le stimulus est la personne qui approche ; l'organe récepteur impliqué est l'œil (ou le nez !). **Les différents récepteurs fournissent donc en permanence aux centres nerveux de nombreuses informations en codant des stimuli variés sous forme d'un message nerveux de nature électrique**, qui porte une information sur le milieu extérieur. Mais comment cette information est-elle transportée dans l'organisme ?

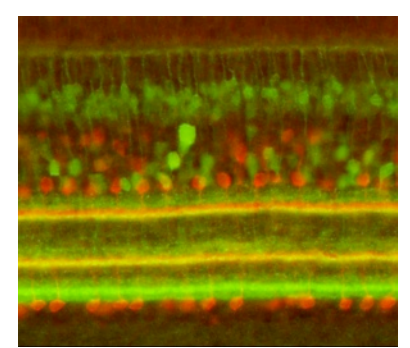
Les nerfs transmettent l'information entre organes et centres nerveux



Les récepteurs sont reliés aux centres nerveux par des **nerfs**. Tous ne sont pas faciles à discerner, mais certains sont évidents, comme les nerfs optiques, qui furent les premiers découverts. Si l'on observe un nerf au microscope, on constate qu'il est fait d'un paquet de fibres (voir schéma ci-contre, Wikimedia/D. Anthony), comme un gros câble électrique renfermant des câbles plus petits. Ces «câbles» sont les **fibres nerveuses**, très nombreuses et fines, pouvant avoir une longueur de l'ordre du mètre. Mais quels sont les rapports entre ces fibres et les centres nerveux ?



Une cellule sensorielle *est capable de transformer un stimulus en message nerveux. Schéma RR*



Une **coupe de rétine**, partie de l'oeil sensible à la lumière, montre l'existence de plusieurs couches de cellules mises en évidences par une coloration fluorescente. Ces cellules transforment les stimulus lumineux en message nerveux.

Une **coupe de peau** (ci dessous) montre des corpuscules ovales (1) qui sont des récepteurs du toucher, … à la pression, situés à côté … (3). Doc Wikimedia / … J. Stanke et al./ Atlas … e humaine & animale.

Aller plus loin
L'organisme est aussi sensible à des signaux internes, par exemple la douleur. Il existe dans la plupart des organes des récepteurs sensoriels à la douleur qu'on appelle **nocicepteurs**. Certains de ces récepteurs internes peuvent aussi à être à l'origine de comportements visant à satisfaire les besoins de l'organisme (par exemple, boire quand on est déshydraté).

Site sur le toucher

LES CENTRES NERVEUX REÇOIVENT, ANALYSENT ET FABRIQUENT DES MESSAGES

Les centres nerveux sont constitués de cellules spécialisées, les neurones

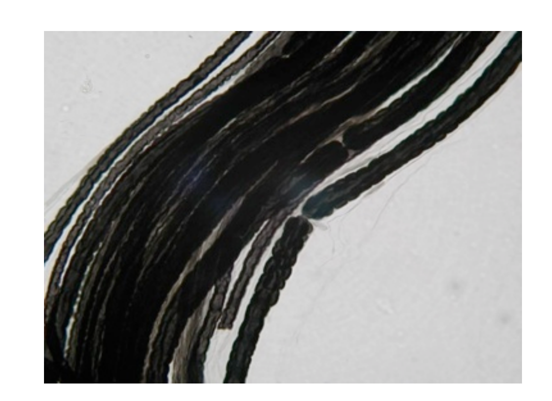
Dès l'invention des premiers microscopes, vers 1660, les centres nerveux, et en particulier le cerveau, on été observés, mais avec difficulté: les premiers observateurs distinguaient mal les cellules dans un enchevêtrement de fibres indistinctes. Ainsi, en 1720, le chercheur suédois Swedenborg réussit à observer des cellules dans le cerveau, en forme de pyramides, et pensa que chacune d'elle était reliée à toutes les parties du corps. Toutefois, ces cellules étaient très difficiles à observer, les colorations connues alors ne permettant pas de bien les voir. Ainsi, en 1810, de Dr Gall propose que les centres nerveux soient entièrement constitués de fibres nerveuses

Toutefois, en 1837, le Pr. R. Remak identifie le premier le lien entre fibre nerveuse et cellule: il observe que **les fibres nerveuses ne sont que le prolongement du cytoplasme des cellules nerveuses**. D'autres chercheurs vont confirmer cette découverte dès 1849. Mais à cette époque, il est toujours difficile de bien voir les cellules nerveuses, en particulier celles, extrêmement nombreuses, situées près de la surface du cerveau. Cette difficulté ne sera levée qu'en 1873 par le Dr C. Golgi, qui met au point une coloration qui permet enfin de mieux voir les cellules nerveuses. Celles-ci ont une forme complexe, car leur cytoplasme forme de nombreuses fibres ramifiées et des expansions, un peu comme un arbre. Toutes ces cellules semblent à Golgi directement reliées par leurs expansions, comme formant un grand ensemble. C'est un observateur exceptionnel, S. Ramon y Cajal, qui montrera en 1888 que la principale expansion de ces cellules s'arrête un peu avant une autre cellule, et que ces dernières sont bien séparées. En 1891, HW. Waldeyer, en faisant le bilan des recherches des autres biologistes, nomme «**neurone**» ces cellules.

Un neurone est une **cellule spécialisée** dans la fabrication et la transmission de messages nerveux. C'est l'unité de base du système nerveux (qui contient aussi d'autres cellules, jouant un rôle de soutien, de protection et de nutrition).

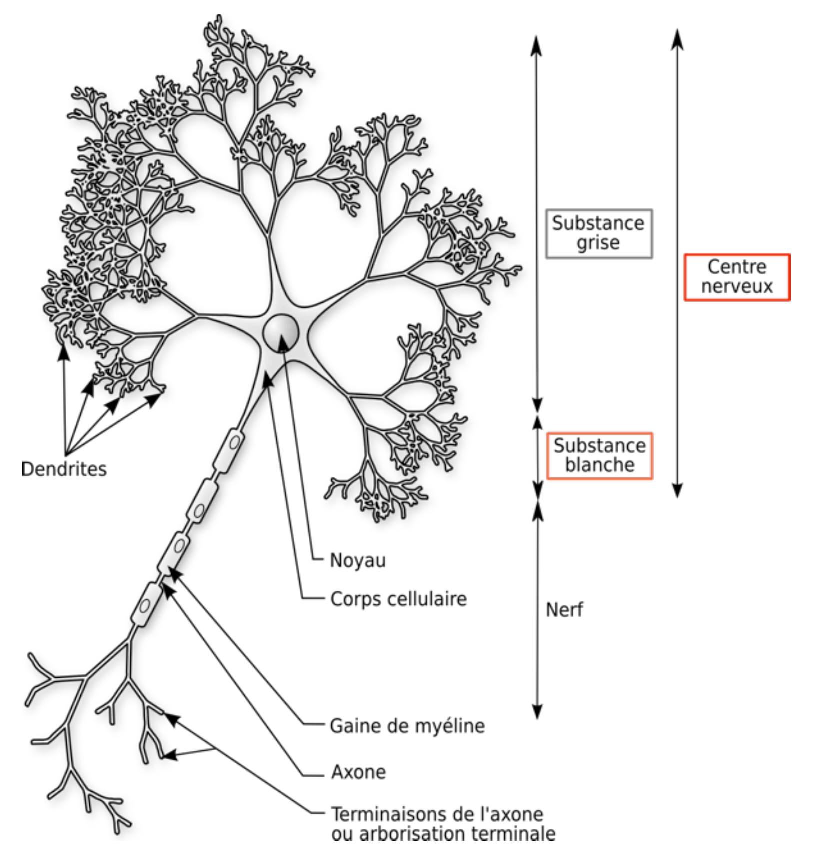
Un neurone comprend différentes régions :

- un **corps cellulaire** : il contient le noyau et les différents éléments du cytoplasme
- des **dendrites** : courtes ramifications situées tout autour du corps cellulaire ;
- un **axone** : ramification principale du neurone, qui peut-être très longue (jusqu'à plusieurs mètres) et **constitue les fibres nerveuses** des nerfs.



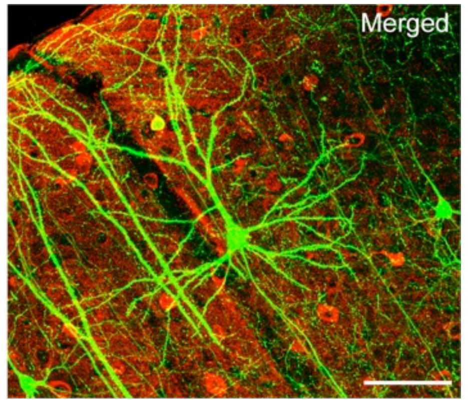
Fibres nerveuses disposées en faisceau et observées au microscope après coloration de Golgi dans un nerf (x 800).

Doc. Wikimedia / Jagiellonian University Medical College

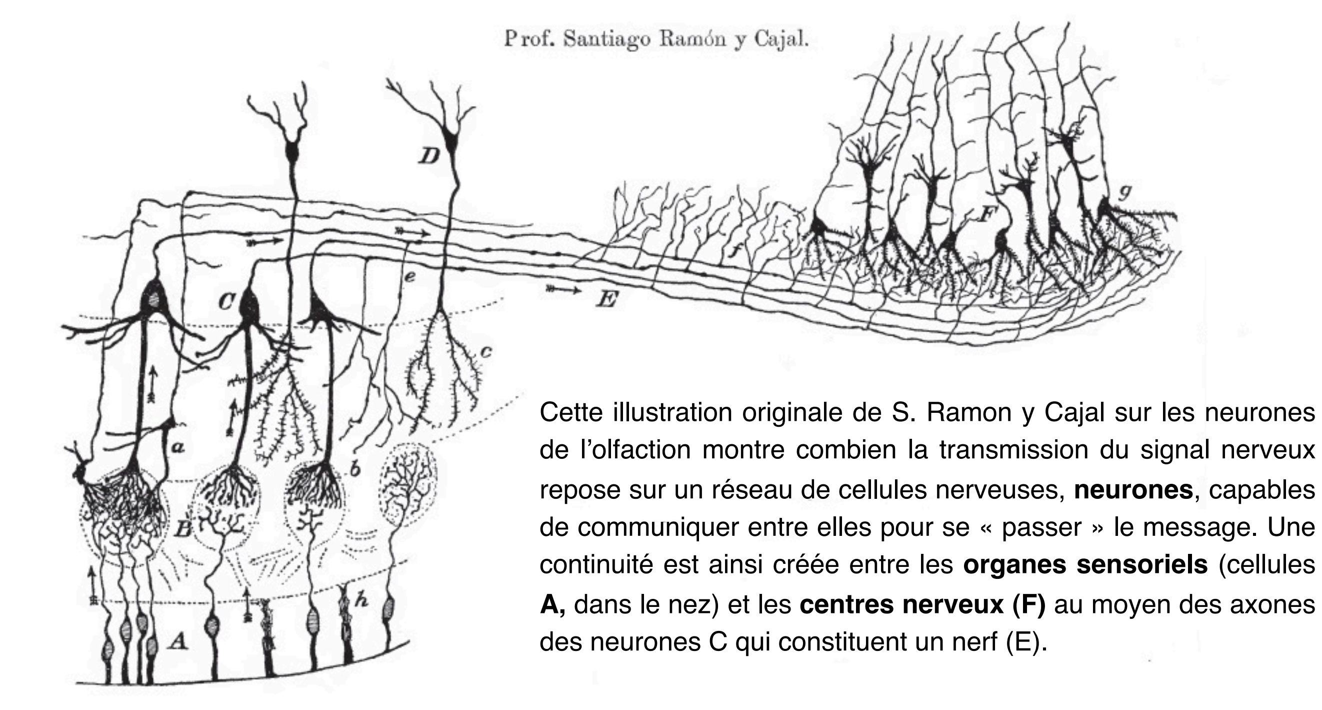


Structure d'un neurone, cellule de base du système nerveux. Le cytoplasme est situé le plus souvent dans des centres nerveux alors que les axones constituent les fibres nerveuses des nerfs.

Doc Wikimedia/Nicolas.Rougier



Les dendrites sont spécialisées dans la **réception** de messages en provenance d'autres cellules nerveuses ; elles sont en connexion avec de nombreuses autres cellules. Le corps cellulaire est le lieu d'**intégration** de ces messages : il fait une sorte de « moyenne » des messages arrivant au même instant, et **crée** en conséquence **un nouveau message** résultant qui sera transmis par l'axone à d'autres cellules nerveuses. La membrane est donc un élément clé du neurone, puisqu'elle permet des contacts très nombreux avec d'autres cellules nerveuses. Sa surface est très importante, comme le montre le doc ci-contre (Wikimedia/PLOS), où les différentes parties d'un neurone ainsi que ses connexions avec d'autres cellules sont clairement visibles (l'axone étant fin, non ramifié et dirigé vers le bas, près de la barre d'échelle représentant 0,1mm). Le message nerveux se propage toujours dans **la même direction**: il naît au niveau du corps cellulaire, et est transmis dans l'axone à une vitesse de l'ordre de **1 m/s.**



Cette illustration originale de S. Ramon y Cajal sur les neurones de l'olfaction montre combien la transmission du signal nerveux repose sur un réseau de cellules nerveuses, **neurones**, capables de communiquer entre elles pour se « passer » le message. Une continuité est ainsi créée entre les **organes sensoriels** (cellules **A,** dans le nez) et les **centres nerveux (F)** au moyen des axones des neurones C qui constituent un nerf (E).

Questions d'élèves

Pourquoi dit-on qu'on est énervé ?

Le terme « énerver » vient du latin « enervare » = e (sans) + nervus (nerf) : quelqu'un qui s'énerve se fatigue à un point tel qu'il n'a finalement plus aucune force, ni physique ni morale, comme si on lui avait coupé tous les nerfs ! Donc, quelque soit la situation : pas la peine de s'énerver !

Les nerfs, c'est les trucs durs dans la viande ?

Et bien non ! Les nerfs sont en fait des structures plutôt tendres et fragiles… La cervelle, qui n'est « que du nerf » n'est pas ce qu'il y a de plus coriace ! Les parties dures de la viande, que nous nommons improprement nerfs, sont en fait les tendons (des structures très résistantes qui attachent les muscles aux os du squelette), les ligaments, ou encore les enveloppes qui entourent les fibres musculaires.

C'est vrai que plus on a une grosse tête, plus on est intelligent ?

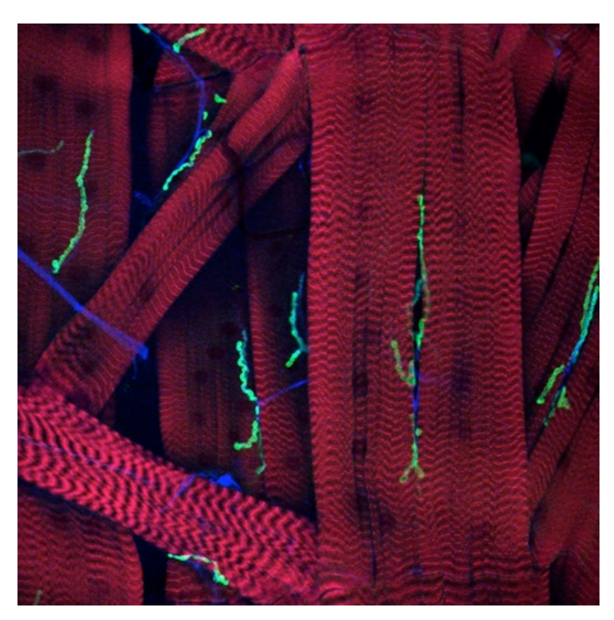
Et bien non, cela n'est pas du tout exact ! D'une part, parce qu'on peut avoir un gros cerveau et n'en utilise qu'une toute petite partie ; et d'autre part parce que la taille du cerveau n'est pas du tout corrélée aux capacités mentales, ou à l'intelligence (si tant est qu'on puisse la définir) de l'individu. Ainsi d'après les fossiles, notre ancêtre Neandertal avait un cerveau plus volumineux que le notre… Et la taille du cerveau étant à peu près proportionnelle à celle du corps, les éléphants ont un cerveau bien plus grand encore !

Ma maman dit qu'elle se « dope » au chocolat. Le chocolat c'est une drogue ?

Le chocolat contient effectivement des substances susceptibles d'agir sur le système nerveux (alcaloïdes, cannabinoïdes…). Mais leur quantité n'est pas assez importante pour produire une véritable dépendance: il faudrait en manger par kilos pour courir ce risque ! C'est donc plutôt l'indigestion qui guette. Le plaisir procuré par l'ingestion de chocolat tient probablement plus aux sucres et matières grasses qu'il contient, ainsi qu'à sa texture .

Le premier type de message, créé au niveau des récepteurs sensoriels et transmis jusqu'aux centres nerveux, est un **message sensitif**. Arrivé au cerveau, ce message va se répercuter et être modifié par un très grand nombre de neurones, car chacun d'entre eux peut établir près de 20,000 connexions avec d'autres neurones (et il y a environ 100 milliards de neurones dans le cerveau). Une partie du cerveau reçoit donc ce message sensitif, qui est décodé et interprété. Si il est nécessaire d'y répondre par un mouvement, un autre ensemble de neurones va fabriquer un nouveau message nerveux, à rôle moteur, qui va être envoyé dans la moelle épinière, en sortira au niveau d'un nerf pour « porter » la commande du mouvement jusqu'à un muscle. On différencie ainsi les **nerfs sensitifs**, qui apportent les messages aux centres nerveux, et les **nerfs moteurs** qui emportent les messages des centres nerveux à destination des autres organes.

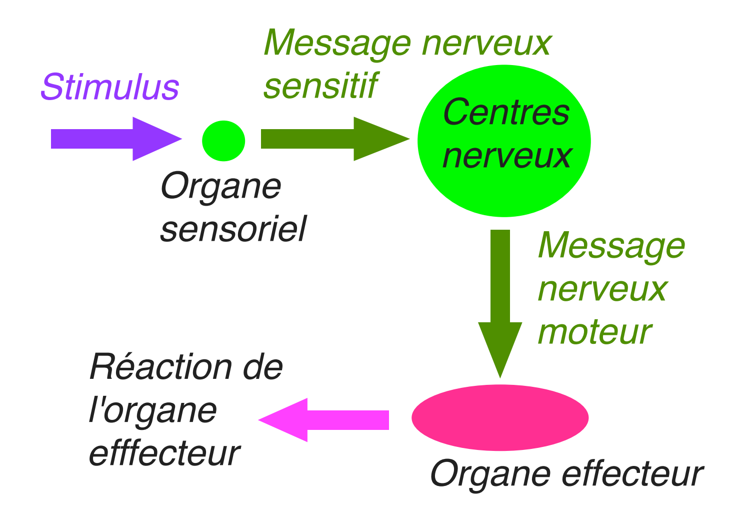
Les muscles qui, en se contractant, entraînent les mouvements, sont des **organes effecteurs**. Il en existe d'autres, par exemple les glandes qui produisent et sécrètent des hormones. Les muscles se contractent de façon coordonnée suite à la réception d'un message nerveux moteur, émis par les centres nerveux (cerveau et moelle épinière), et transmis via les nerfs moteurs.



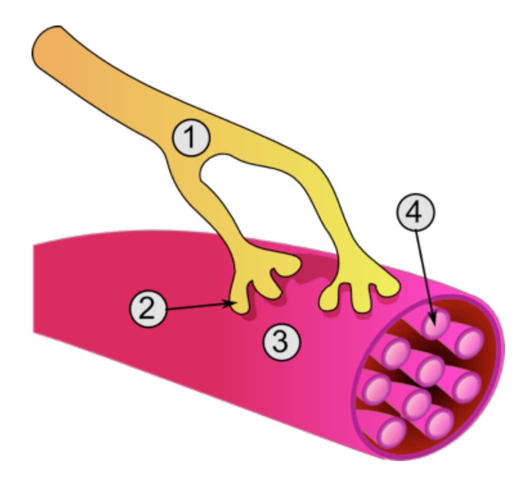
Au niveau du muscle, la terminaison du nerf (*en vert et bleu sur la photo*), et donc les axones qui le constituent, entre presque en contact avec les cellules musculaires (*en rouge*). En fait, elles en sont si proches que l'arrivée du message nerveux au bout de l'axone déclenche la libération d'une substance (un «messager chimique») qui, immédiatement captée par la cellule musculaire, provoque sa contraction. Ce branchement «indirect» des cellules nerveuses avec d'autres cellules porte le nom de **synapse**, terme inventé en 1897 par le médecin CS Sherrington.

Photo de synapses nerf/muscle : ASCB/Timothy Mosca

La communication nerveuse, au sein de l'organisme, repose donc sur les cellules très spécialisées que sont les neurones. Ces neurones, sensitifs ou moteurs, présentent pour la plupart un long prolongement, l'axone. Plusieurs axones sont regroupés dans les nerfs, qui sont donc en lien direct avec le système nerveux central. Comment ce dernier est-il organisé ?



Cheminement des différents messages nerveux dans le système nerveux, du stimulus qui leur donne naissance jusqu'à la réaction d'un organe effecteur. Schéma RR



Synapse entre l'axone d'un neurone (en jaune) et une cellule musculaire (en rose). L'axone (1) se divise et entre presque en contact (2) avec la membrane (3) de la cellule musculaire. L'arrivée du message nerveux provoquera la libération de messagers chimiques qui déclencheront la contraction d de la cellule musculaire. Schéma Wikimedia.

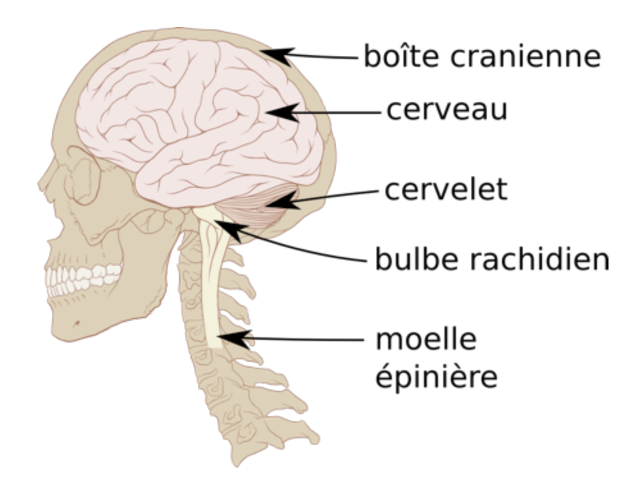
Le cerveau est un centre nerveux qui analyse les messages nerveux sensitifs (perception) et élabore en réponse des messages nerveux moteurs

Les **centres nerveux** sont, comme leur nom l'indique, au cœur du réseau nerveux formé par l'ensemble des neurones. Ce sont ces centres, le **cerveau** (également appelé **encéphale**) et la **moelle épinière**, qui reçoivent et analysent les messages nerveux sensitifs en provenance de différents organes. Ils les traitent, et, si besoin, émettent en réponse des messages moteurs adaptés, en direction des organes effecteurs.

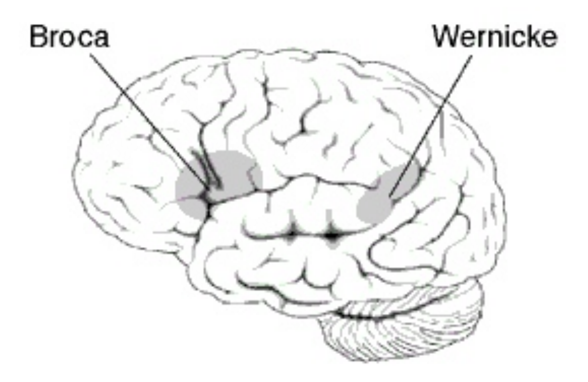
La moelle épinière est mise en jeu dans la commande des mouvements « réflexes », mouvements pour lesquels la volonté de l'individu n'intervient pas (voir exercice truc). Dans le cerveau le traitement des informations est plus complexe ; il peut mettre en jeu la volonté ou la mémoire par exemple.

La **perception** de l'environnement est l'analyse cérébrale réalisée à partir des messages nerveux sensitifs. Elle a lieu à la surface du cerveau, dans une région nommée **cortex**, qui ne fait que quelques mm d'épaisseur et contient la plupart des neurones (le reste du volume du cerveau étant occupé par les axones de ces neurones et par d'autres types de cellules)

Le cerveau est un organe particulièrement fragile. Protégé par la boîte crânienne, il est soumis pour son fonctionnement à des exigences strictes, car son fonctionnement nécessite énormément d'énergie: à lui seul, cet organe de 1 kg environ consomme 20 % de l'énergie de l'organisme! Le cerveau a donc de gros besoins en nutriments (glucose) et en dioxygène. Ceci explique que les accidents vasculaires cérébraux (AVC), en bloquant le flux sanguin dans une partie du cerveau, ont souvent des conséquences catastrophiques sur le fonctionnement de l'organisme. Ce sont justement les dommages accidentels (ou expérimentaux, voir exercice truc) du cerveau qui ont permis de découvrir que **le cortex est organisé en zones différentes et spécialisées, les « aires cérébrales »**. Ainsi, en 1861, le médecin P Broca fait le bilan de ses études de patients devenus incapables de parler: dans plusieurs cas, cette incapacité est liée à la destruction accidentelle d'une certaine zone de la surface du cerveau, toujours la même (et appelée depuis «aire de Broca»), située au même endroit. Il en déduit que cette zone est impliquée dans le contrôle de la parole, confirmant ainsi **l'organisation du cortex en territoires spécialisés** dans une fonction particulière. Ces aires sont en relation avec les organes sensoriels et effecteurs mis en jeu dans cette fonction, de très nombreuses communications existant également entre ces différentes zones.



Situation respective de quelques centres nerveux. Seuls le cerveau et la moelle épinière sont à connaitre.
Doc MN dérivé de Wikimedia/ Patrick Lynch.

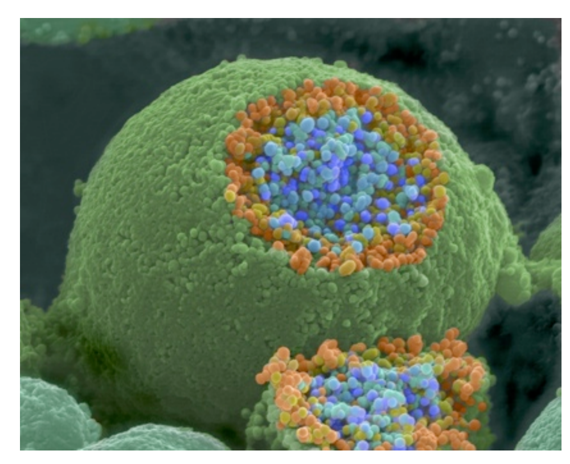


Localisation de l'aire cérébrale découverte par P. Broca et impliquée dans la fabrication des mots. Plus en arrière, l'aire de Wernicke est elle spécialisée dans la compréhension du sens des mots. De nombreuses aires ont depuis été identifiées, permettant de dresser une véritable cartographie du cerveau (voir ci-dessous). *Doc Wikimedia*.

Les différentes aires cérébrales

Les neurones communiquent entre eux au niveau de synapses

À l'intérieur des aires cérébrales, entre ces aires et dans l'ensemble des centres nerveux, les neurones communiquent entre eux au niveau de nombreuses synapses. Ces dernières sont formées par deux régions de la membrane des deux cellules en communication. À ce niveau, les membranes ne sont pas en contact, mais séparées par un mince espace. Grâce aux synapses, les neurones forment **un réseau qui a la particularité de pouvoir évoluer**: un neurone peut établir de nouvelles synapses et en interrompre d'autres, de nouveaux circuits peuvent se créer, soit de façon permanente (comme ceux qui se sont créés dans votre cerveau lorsque vous avez appris à lire, ou à faire du vélo), soit de façon transitoire (comme lorsque vous ne révisez pas assez vos cours pour vous en souvenir longtemps!).

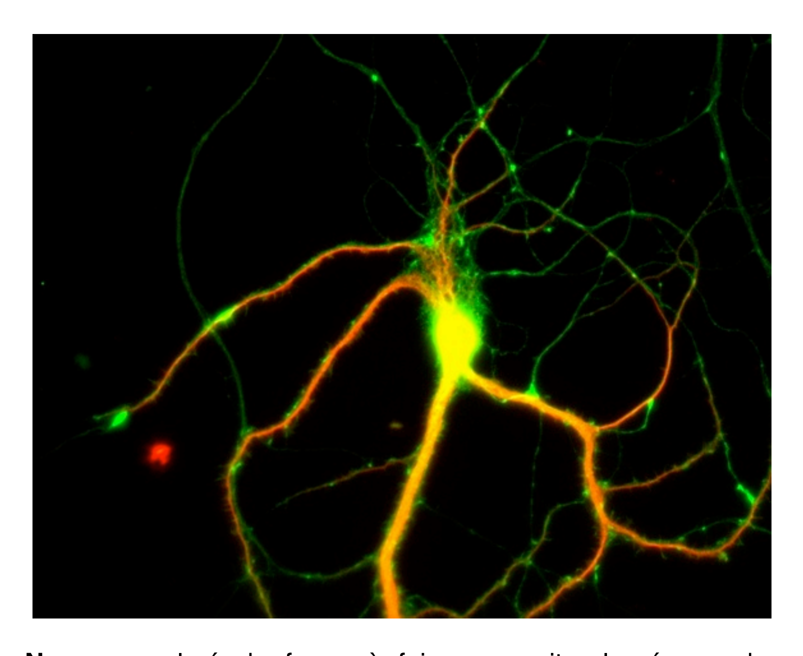


La transmission du message entre les deux cellules en contact est assurée par des substances particulières (les neurotransmetteurs), qui traversent le petit espace entre deux neurones lorsqu'un message nerveux arrivant au bout de la cellule présynaptique (située avant la synapse) les libère.

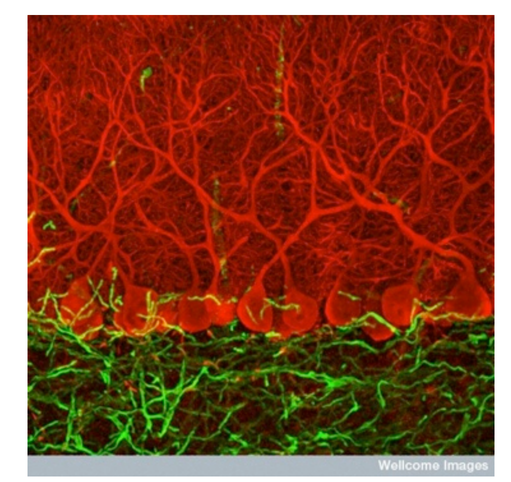
Sur la photo ci-contre, en fausses couleurs, l'extrémité d'un axone est coupée montrant, sous la membrane verte, de petits sacs (orange et bleu) remplis de neurotransmetteurs prêts à être libérés pour transmettre un message nerveux - photo ASCB / Tina Carvalho.

Ces substances vont faire renaître le message dans le neurone postsynaptique (située après la synapse) tout en permettant qu'il soit modifié par l'action d'autres synapses voisines (*mais là, cela devient un peu compliqué... si le fonctionnement du cerveau était simple, il ne nous permettrait pas d'en parler!*). La mise en évidence de ce mode de communication chimique entre neurones a été faite par le pharmacologue allemand Otto Loewi en 1921. L'existence des substances échangées entre neurones a une conséquence importante: si des substances qui leur ressemblent peuvent arriver entre els neurones, elles vont pouvoir créer des «interférences», des «faux messages» et perturber fortement, comme nous allons le voir, le fonctionnement du système nerveux.

Aller plus loin -- Un film sur les neurones



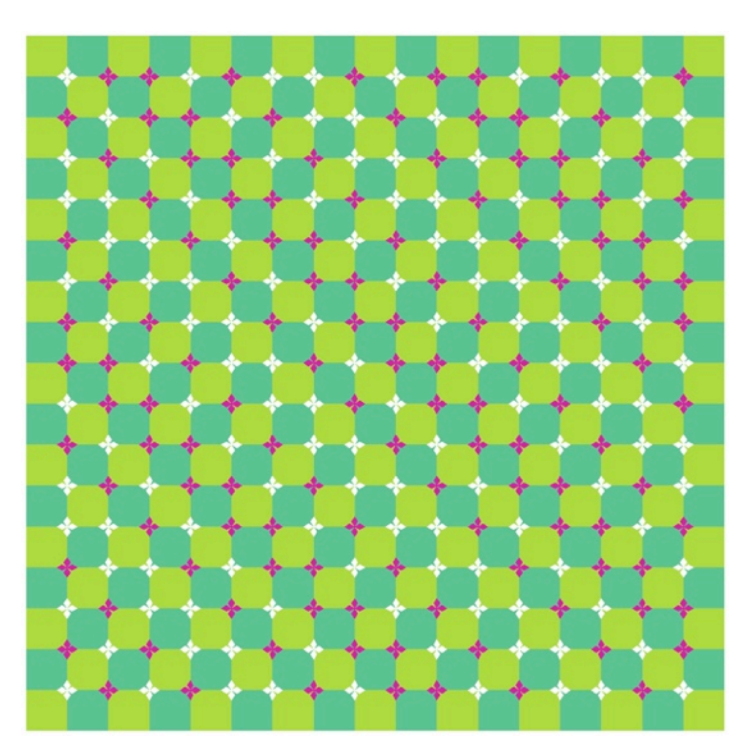
Neurone coloré de façon à faire apparaitre le réseau des dendrites (en orange). Chaque point vert signale l'emplacement d'une synapse. Ce neurone a été «cultivé» en dehors de l'organisme, avec un nombre limité d'autres neurones, mais possède déjà un nombre important de connexions, qui serait bien plus élevée dans le cerveau lui même. Photo au microscope x 500. ASCB/Dieter Brandner/Ginger Withers



Neurone du cervelet d'un rat, colorés en rouge fluo. La «forêt» de dendrites apparait clairement et donne une idée de la complexité du réseau constitué par les neurones, sachant qu'un cube d'un mm de côté de cortex cérébral contient 600 millions de synapses.
Photo au microscope ASCB/Ludovic Colin.

LE FONCTIONNEMENT DES CENTRES NERVEUX PEUT ÊTRE PERTURBÉ

Des situations particulières et la consommation de certaines substances altèrent le fonctionnement des centres nerveux.



Plusieurs types de facteurs peuvent entraver le bon fonctionnement du système nerveux : la consommation ou l'abus de certaines substances, comme les drogues ou l'alcool, sont les plus fréquents. Ils agissent en perturbant la communication entre neurones, ce qui a pour conséquence d'altérer la sensibilité et de modifier les comportements. Toutefois, le mode de vie peut aussi avoir un effet néfaste sur le fonctionnement du système nerveux, de nombreuses situations pouvant le perturber, comme le montre l'illustration ci-contre, qui, si vous la regardez fixement, force votre cerveau à créer un mouvement d'ondulation qui n'existe pas !

(*Illustration du Pr. Akiyoshi Kitaoka, maitre en illusions d'optique, comme vous le démontrera son site web qui va affoler vos aires cérébrales visuelles!*).

Ainsi, le **sommeil** est très important, car nécessaire pour la régénération des neurones (entretien de leurs membranes, et notamment de leurs synapses). C'est pourquoi il est fondamental pour faciliter l'apprentissage, la mémorisation reposant sur la création de nouvelles synapses entre les neurones. La durée de sommeil nécessaire varie selon les individus; pour un adolescent elle est en moyenne de 8 à 10h (oui, autant que ça!). Le manque de sommeil peut entraîner des somnolences durant la journée, dont les conséquences sont multiples : limitation des performances scolaires, augmentation des risques d'accident par manque d'attention par exemple.

Questions d'élèves

Les nerfs, ça repousse ?

Il est effectivement possible pour les axones des nerfs périphériques de repousser après une section par exemple. Par contre, une réparation au niveau du système nerveux central (cerveau ou moelle épinière) n'a encore jamais été clairement observée.

Les nerfs, c'est comme des fils électriques ?

Un peu, bien que le transport du courant à l'intérieur ne se fasse pas du tout selon les mêmes mécanismes.

On peut allumer une ampoule avec le courant dans les nerfs, comme dans la famille Adams ?

Non, à moins d'avoir une toute petite ampoule! Le courant circulant dans les nerfs est d'une intensité trop faible, et de plus reste confiné dans les nerfs.

Chez ma grand-mère on a coupé la tête d'un canard et il courait, elle a dit que c'était les nerfs qui le faisaient marcher.

Pas exactement, ce qui le faisait marcher, c'est la moelle épinière, qui est un centre nerveux et contient les neurones nécessaires à certains «automatismes» comme les mouvements de la marche. Toutefois, cela ne dure pas très longtemps.

On peut pas greffer un nerf pour refaire marcher un paralysé ?

Les nerfs étant des «morceaux» de neurones, on ne peut pas les greffer, mais par contre des greffes de neurones «jeunes» ont été réalisées sur des animaux et ont donnés ddes résultats très encourageants.

On perd beaucoup de neurones en vieillissant ?

On en perd, effectivement, mais ce qui compte, c'est plus le nombre de connexions que celui de neurones. En tout état de cause, il en reste toujours bien assez, et les problèmes cérébraux liés à la vieillesse ne viennent pas d'une diminution «normale» du nombre de neurones.

Le fonctionnement du système nerveux peut également être altéré par le stress, qui va causer un «épuisement» nerveux, avec des confusions et une agressivité plus développée. Il est important d'adapter son mode de vie pour éviter ces situations.

De nombreuses substances agissent également de façon puissante sur le système nerveux. Beaucoup proviennent de plantes. Leur utilisation n'est pas récente : en Asie par exemple, les feuilles de cannabis sont utilisées à des fins thérapeutiques depuis des millénaires; et dans l'Antiquité, la médecine grecque utilisait l'opium et en signalait les avantages (il fait dormir et apaise les douleurs) mais aussi les dangers (il cause des troubles de la personnalité et provoque une accoutumance et une dépendance).

Autrefois, le mot «drogue» désignait un «médicament», une préparation des apothicaires (les pharmaciens d'autrefois) destinée à soulager un malade. Depuis, le sens de ce terme a évolué ; aujourd'hui, il désigne principalement les substances illicites, car trop dangereuses, comme l'héroïne, mais on peut encore parler de «drogue» pour le café ou le tabac… Ces «drogues» modifient l'état de conscience en agissant sur le système nerveux. Leur action se situe au niveau des synapses, dont la nicotine (principe actif du tabac), le cannabis, la caféine ou l'alcool perturbent le fonctionnement tout en générant une sensation de plaisir. Selon les substances, les perturbations seront légères, voire bénéfiques (caféine) ou catastrophiques (alcool, morphine, cocaïne...).

Les drogues illégales (et l'abus de certaines légales, comme l'alcool) ont de nombreuses conséquences néfastes. À court terme, elles provoquent une mauvaise appréciation des distances, l'augmentation du temps de réaction du cerveau, une altération de la coordination des mouvements, des troubles de la vision, une difficulté à prendre des décisions… Cela peut entraîner de graves accidents, notamment si celui ou celle qui les consomme conduit un véhicule.

À plus long terme, les drogues déclenchent un phénomène de **tolérance** (ou **accoutumance**), qui correspond à la nécessité pour l'individu d'augmenter la dose de produit (sous forme de prises plus importantes ou plus fréquentes) pour obtenir les mêmes effets, ou pour calmer le malaise lié à l'état de manque. L'**état de manque** se caractérise par des troubles physiques et physiologiques (tremblements, sueurs, nausées, soif, agitation...) ainsi que par des troubles psychiques et psychologiques (stress, tristesse, dépression, état suicidaire, angoisse). La **dépendance** est l'impossibilité de résister à la prise du produit. Elle s'installe brutalement ou progressivement, en fonction du produit consommé et des caractéristiques de l'individu. Même la consommation de substances à l'action réelle, mais modérée (cannabis par exemple) entraîne des troubles de l'attention en classe, des difficultés de mémorisation et le manque de toute motivation pour apprendre.



C'est à partir du latex (la sève) des fruits du pavot – *Papaver somniferum* – que l'on extrait l'opium. Doc Wikimedia/ Louise Joly.



A la fin du 19eme siècle, la cocaïne était utilisée couramment en pharmacie, comme le montre cette publicité pour des pastilles destinées à lutter contre les douleurs dentaires des enfants. Ses dangers étaient alors inconnus. Doc. Wikimedia.

Pour en savoir plus --http://www.drogues.gouv.fr/

Les récepteurs sensoriels peuvent être gravement altérés par des agressions de l'environnement

Les organes des sens, parce qu'ils sont sensibles justement, peuvent être irréversiblement endommagés par une intensité trop forte des signaux qu'ils détectent. Ainsi, les cellules réceptrices de la rétine peuvent être détruites par des rayonnements lumineux trop intenses ou prolongés : il ne faut jamais fixer un laser, ou le soleil, sans protections adaptées. Les cellules de la langue, du nez et de la peau peuvent être agressées par des substances, comme certains acides : la manipulation de ces produits doit donc s'accompagner de protections (lunette, blouse, gants…).

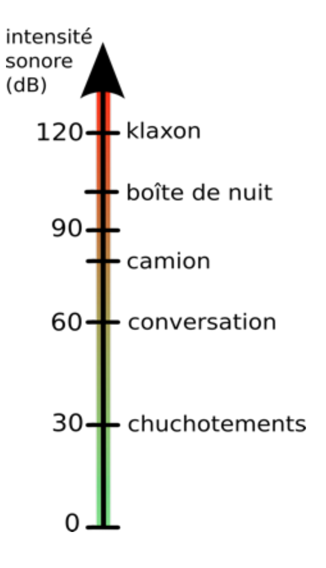
Le bruit excessif, une agression très fréquente, peut, à dose trop intense ou trop persistante, entraîner une surdité par destruction progressive des cellules ciliées situées dans l'oreille interne, et qui sont les cellules qui transforment les sons en messages nerveux: ces cellules peuvent être endommagées ou détruites par des sons trop violents et ne se renouvellent pas.

L'oreille interne peut percevoir des sons de 0 décibel (dB) à 120 dB (seuil de douleur). L'usage d'écouteurs est un facteur de risque important auprès des 15-24 ans. En effet, la plupart en utilisent, et 20 % d'entre eux plus de 5 heures par jour et à pleine puissance, qui équivaut à celle d'une boîte de nuit ou d'une salle de concert (des témoignages ici).

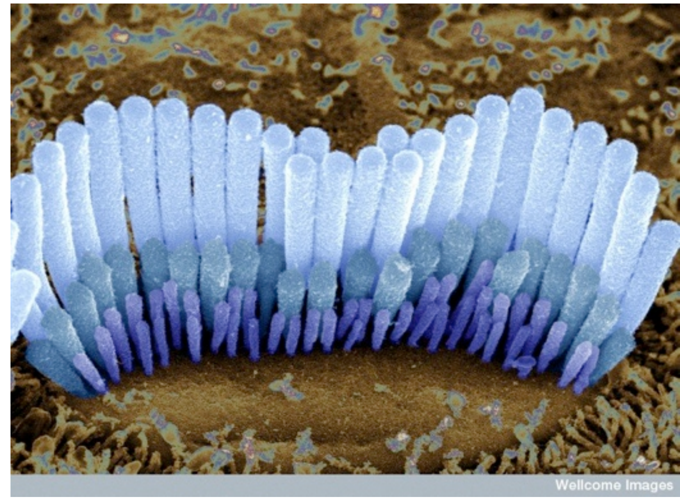
Il est simple de limiter ces risques en utilisant les écouteurs (les casques couvrant les oreilles étant les moins dangereux) à un volume raisonnable (pas plus d'une heure en continu à plus de 60% du volume maxi) et en ne se mettant pas devant les enceintes pendant un concert. Si des sifflements d'oreilles ou des bourdonnements persistent après avoir dormi ou si les sons faibles vous semblent très amplifiés, il faut consulter un ORL qui pourra parfois «réparer» partiellement les dégâts.

La destruction totale ou partielle des cellules réceptrices diminue ou stoppe leur activité; cela a pour conséquence de couper partiellement le système nerveux de l'environnement qu'il est censé détecter. Chaque individu doit prendre conscience de la fragilité de son système nerveux et de la nécessité de le préserver.

À RETENIR
Le système nerveux est constitué des centres nerveux (cerveau et moelle épinière) et des nerfs qui relient les organes aux centres nerveux. Les nerfs sont des faisceaux de fibres nerveuses qui sont des prolongement du cytoplasme de cellules nerveuses, les neurones. Dans les nerfs circulent des messages nerveux, de nature électrique, élaborés par les organes sensoriels à partir de différents stimuli et envoyés au système nerveux, ou bien des messages fabriqués par lui à destination des autres organes.



La puissance d'un son se mesure en décibels. Au delà de 100 dB, il y a danger pour les cellules sensorielles qui transforment les sons en messages nerveux. Toutefois, au delà de 80 dB un son de longue durée va aussi endommager les cellules sensorielles de l'oreille, ce qui conduit à une lente diminution des capacités auditives. *Doc MN.*



Ces **cils microscopiques** (x 10000 environ, en fausses couleurs) sont les «capteurs» des cellules sensorielles de l'oreille. Des sons trop puissants peuvent les endommager, voire les détruire. Ces cellules, une fois morte, ne sont pas remplacées, ce qui diminue graduellement les capacités auditives des individus. Photo ASCB / David Furness

EXERCICES

Questions de cours

Quizz (10 pts)

1/ Les neurones de l'homme véhiculent l'influx nerveux à une vitesse de :
- 0.1 km/h
- 1 km/h
- 4 à 400 km/h
- 300 000 km/s

2/ Les neurones de l'homme peuvent atteindre une longueur de:
- 1m
- 10 cm
- 1cm
- 1mm

3/ Les neurones sont sensibles :
- à certains médicaments
- aux drogues
- au manque d'oxygène
- au manque de glucose.

4/ Les neurones ont leur noyau :
- dans les nerfs
- dans l'organe effecteur
- dans l'encéphale
- dans la moelle épinière

5/ Les neurones possèdent :
- des dendrites, des corps cellulaires et des axones
- un dendrite, un corps cellulaire et des axones
- un dendrite, des corps cellulaires et un axone
- des dendrites, un corps cellulaire et un axone.

VRAI / FAUX. Notez si les affirmations suivantes sont vrai ou fausses, et surtout expliquez pourquoi !

A - La moelle épinière et le cerveau sont des centres nerveux.

B - La destruction de la moelle épinière peut supprimer certains mouvements.

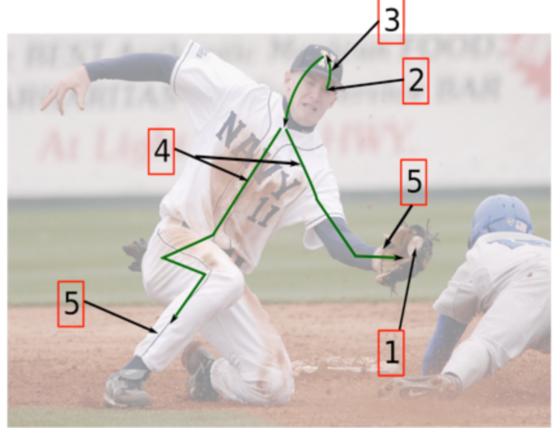
C - Un organe des sens est relié au cerveau par un nerf moteur.

D - L'alcool diminue le temps de réaction d'un automobiliste.

Colles

1/ A l'oeil (4 pts)
En 1798, le chimiste Anglais J. Dalton publie un ouvrage nommé «Faits extraordinaires à propos de la vision des couleurs» ou il décrit la maladie dont il souffre et avance des hypothèses sur son origine. J .Dalton est en effet incapable de faire la différence entre le rouge et le vert. À partir de vos connaissances, quelles hypothèses pourriez-vous faire pour expliquer cette étonnante anomalie ?

2/ court-circuit (5 pts) - *Doc Wikimedia / US navy / MN***.**



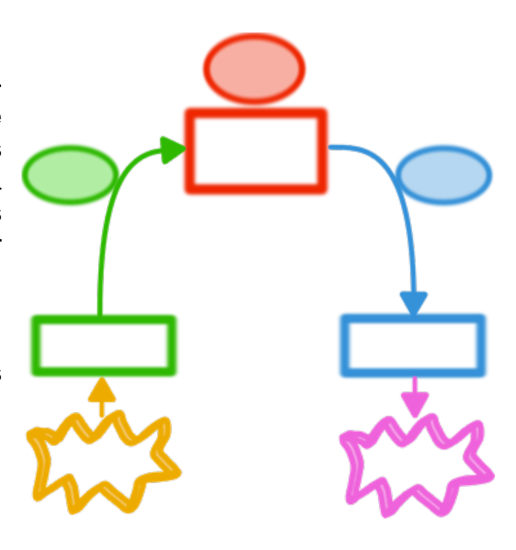
Ayant vu la balle (1) arriver, le receveur place son pied et sa main de façon à l'intercepter. Décrivez le circuit nerveux présenté ici, à partir du stimulus, jusqu'aux effecteurs.
Pour quelle raison peut-on dire que le schéma présenté ici est très simplifié ?

3/ Acouphènes (3 pts)
Il vous est sans doute déjà arrivé d'avoir «les oreilles qui sifflent». Ces sifflements portant le nom barbare «d'acouphènes». Mais comment se fait-il que vous puissiez entendre des sifflements que personne d'autre, autour de vous, n'entend ?
Proposez une ou plusieurs hypothèses permettant d'éclaircir ce mystère.

3/ Généralisation (7 pts)

Complétez le schéma ci-contre de façon à faire apparaitre, entre le stimulus (en bas à gauche) et la réponse, les différentes voies et étapes suivies par les messages nerveux.
(Doc MN)

Que représentent les différentes couleurs vertes, rouge et bleu, choisies ?



EXERCICES

1/ Repérages (6 pts)

La photo ci-)dessous représente une coupe d'un muscle et d'un nerf, (entouré d'un trait bleu épais). C'est une coupe transversale (comme une baguette de pain coupée en rondelles), colorée et grossie environ 400 fois (Doc. Wikimedia / *Jagiellonian University Medical College*).



Quelles sont les structures rondes visibles à l'intérieur du nerf ?

Quelles sont les structures rondes visibles à l'intérieur du muscle ?

La communication entre nerf et muscle est elle visible ici ? (Expliquez votre réponse).

2/ Les raisons du coeur (7 pts)

Le philosophe grec Aristote soutenait que la personnalité, la conscience résidaient non pas dans le cerveau, mais dans le coeur. Il se basait sur des observations, par exemple le fait que le rythme du coeur change selon les émotions que l'on ressent, alors que le cerveau ne semble être le lieu d'aucun changement lié aux émotions.

21 - Citez deux observations ou expériences montrant qu'Aristote était dans l'erreur.

22 - Malgré ses erreurs, Aristote était un scientifique d'une telle envergure, aux observations si étendues et à la logique si développée que son autorité a été reconnue pendant plus de 10 siècles. Ses erreurs sont même passées dans le langage commun: trouvez trois expressions françaises communes qui laissent (à tort) penser que c'est bien dans le coeur que se situe l'origine des émotions ou de la pensée.

3 / La grenouille sans tête (4 pts)

En 1730, S. Hales réalise sur une grenouille décapitée quelques observations troublantes :

- si il pince l'extrémité d'un membre de la grenouille, ce dernier ce replie, comme cela se passe sur une grenouille «intacte» et vivante!
- si il détruit la moelle épinière de sa grenouille décapitée, alors le pincement du membre ne produit plus aucune réaction.

Quelles conclusions pouvez-vous tirer de cette observation et de cette expérience ?

4 / De l'électricité dans l'air (12 pts)

Vers 1750, le génial Albrecht von Haller avait découvert que les nerfs étaient à la base de la sensibilité, et avait noté les différences apparentes entre message nerveux et courant électrique. Le biologiste L. Caldani, utilisant les premières sources d'électricité, avait montré en 1756 que des décharges électriques avaient des effets variés sur les muscles, en particulier chez les animaux chez qui ces effets étaient les plus nets (et le plus facile à se procurer): les grenouilles. Entre 1780 et 1790, Luigi Galvani réalise une série

d’expériences visant à éclaircir les liens entre électricité et système nerveux. Il utilise pour cela des «demi-grenouilles »: l’animal est tué, coupé en deux, et seuls ses membres inférieurs ainsi que la colonne vertébrale (et donc la moelle épinière) sont conservés. Les expériences sont réalisées immédiatement.

41 - Haller explique pourquoi il ne pense pas que le message nerveux soit de nature électrique: «La matière électrique suit d'autres lois (que celles du message nerveux): elle ne pourrait pas être retenue par des ligatures, elle ne resterait pas dans le nerf, elle se répandrait dans les espaces voisins.» Ses observations sont justes, mais pourquoi se trompe t’il ?

42 - Dans une première série d’expériences, Galvani découvre qu’en présence de décharges électriques provoquées par un générateur ou par les éclairs d’un orage, les muscles des pattes se contractent si un fil métallique est relié à la moelle épinière. Comment expliquez-vous ce résultat ?

43 - Galvani observe ensuite que lorsque les crochets de cuivre enfoncés dans la moelle épinière entrent en contact avec les barreaux de fer de son balcon, les muscles se contractent. Que peut-il en déduire ?

44 - Galvani montre ensuite que des contractions se produisent si il relie moelle et muscle par un arc fait de métal (les contractions sont alors très faibles) ou de deux métaux différents (les contractions sont violentes). Si un isolant remplace ces métaux, il n’y a pas de contractions.
Que montrent ces expériences pour Galvani ?
Comment, avec vos connaissances modernes, pouvez-vous expliquer ce résultat ?

45 - Alors que Galvani, au début de ses expériences, partageait les conclusions de Haller, il les réfute après celles-ci. Quelles sont donc, après ces expériences, les découvertes de Galvani sur le message nerveux ?

5 / Le Prométhée moderne (8 pts)

Au 18e siècle, de nombreuses expériences ont été réalisées avec les premières sources d'électricité (la machine électrique ou la bouteille de Leyde). Parmi ces expériences il y avait l’électrisation des vivants (180 gardes royaux de Louis XV se tenant par la main ont été ainsi «électrocutés» modérément pour l’amusement de la cour) mais aussi des morts: vers 1800, Giovanni Aldini, neveu de Galvani, parcourait France et Angleterre pour réaliser des expériences publiques spectaculaires et macabres alors à la mode. Aldini, pour démontrer que l’électricité était à la base de l’activité des êtres vivants, électrocutait des animaux morts ou des morceaux d’animaux, et les mouvements qu’il déclenchait semblaient faire revenir momentanément à la vie ces morceaux de corps. Ainsi, il réussit à faire ouvrir les yeux et la bouche à une tête de Taureau. Mais ces expériences «gothiques» culminèrent en janvier 1803. Le meurtrier George Forster, après avoir été pendu, a été amené au collège royal de chirurgie, où « lorsque Aldini appliqua son électrode, reliée à une grande batterie, sur le visage de Forster, sa mâchoire se mit à trembler, les muscles adjacents étaient horriblement déformés, et l'œil gauche nettement ouvert». Ne reculant devant rien, Aldini brancha son électrode dans le rectum (oui) du meurtrier, et soudain «le mort leva son poing fermé pour fendre l’air, comme s’il était furieux, donnant des coups avec ses pieds et son dos se cambrant violemment».
51 - Comment expliquez-vous les phénomènes provoqués par Aldini ?

52 - Bien qu’Aldini ait avoué n’avoir jamais réussi à refaire battre un coeur arrêté, d’autres expérimentateurs, comme l’Allemand Carl August Weinhold, affirment avoir «ressuscité» pendant quelques minutes des animaux décapités, obtenant des «zombis» capables de marcher quelques minutes lorsque leur moelle épinière était remplacée par un générateur électrique.

Comment expliquer ces résultats ? De nos jours, l'électricité peut-elle faire repartir un coeur arrêté ? Peut-on alors dire que l'on a «ressuscité» quelqu'un ?

53 - Ces expériences vont inspirer en 1816 Mary Shelley qui, lors d'un séjour de vacances, écrira un des premiers romans fantastiques, dont vous allez bien entendu trouver le titre et souligner les points communs avec les conceptions d'Aldini et Weinhold.

6 / Les expériences discutables de R. Bartholow (10 pts)
Entre 1860 et 1870, le Dr E Hitzig, soignant des soldats souffrant de graves fractures du crâne exposant leur cerveau, découvre que de faibles courants électriques appliqués à la surface de cet organe provoquent des mouvements involontaires. Quelques années plus tard, avec l'aide de G Fristch, il montre qu'en stimulant électriquement certaines zones du cerveau d'un chien, il obtient toujours les mêmes mouvements de ce dernier. En 1873, le spécialiste du cerveau D. Ferrier, recherchant les causes d'une maladie, l'épilepsie, montra qu'une stimulation électrique directe de certaines zones du cerveau d'animaux différents aboutissait à la réalisation de mouvements, toujours les mêmes (mêmes mouvements du même membre).

61 - Que montrent les résultats obtenus par Hitzig et Fristch ?

62 - En 1874, le médecin Robert Bartholow reçoit une malade, Mary Rafferty, qui souffre d'une affection très rare: un cancer a détruit une partie des os de son crâne, créant un trou de 5 cm de diamètre montrant son cerveau. Bartholow, connaissant les expériences de Ferrier et Hitzig, applique alors sur le cerveau de sa patiente de faibles courants électriques. Celle-ci ne ressent aucune douleur, mais se met alors a réaliser des mouvements involontaires. La stimulation d'une même zone provoquant toujours les mêmes mouvements. Bartholow découvre aussi qu'il peut modifier, par ses stimulations, le rythme respiratoire et l'humeur de Mme Rafferty.
Quelles informations nouvelles apportent ces expériences ?

Comment pouvez-vous, avec les connaissances modernes, expliquer les phénomènes constatés ?

63 - Bartholow ne se contente pas d'utiliser de faibles courants électriques: il teste plusieurs intensités. Au cours de cette expérience, Mary Raferty est prise de convulsion puis tombe dans le coma pendant 3 jours. Elle reprend conscience le quatrième jour, mais meurt le lendemain d'un accident vasculaire cérébral.
Pourquoi peut-on dire que les expériences de Bartholow étaient, même à l'époque, discutables ?

64 - Bartholow décrivit ainsi une de ses expériences avec Mme Rafferty: «*When the needle entered the brain substance, she complained of acute pain in the neck. In order to develop more decided reactions, the strength of the current was increased ... her countenance exhibited great distress, and she began to cry. Very soon, the left hand was extended as if in the act of taking hold of some object in front of her; the arm presently was agitated with clonic spasm; her eyes became fixed, with pupils widely dilated; lips were blue, and she frothed at the mouth; (...); she lost consciousness and was violently convulsed on the left side. The convulsion lasted five minutes, and was succeeded by a coma. She returned to consciousness in twenty minutes from the beginning of the attack, and complained of some weakness and vertigo.*»
Vous allez bien entendu traduire ce texte en bon français.



7 / L'étrange cas de Phineas Cage (6 pts)
En septembre 1848, Phineas Gage travaille à la construction d'une ligne de chemin de fer, dans le Vermont, aux USA. Le 13, il commet une grave erreur: ayant versé de la poudre dans un trou foré dans la roche afin de la faire sauter, il oublie de rajouter du sable sur la poudre avant de la tasser avec une barre à mine (ci-contre, photo de P. Gage tenant la barre qui l'a rendu célèbre. Doc

Wikimedia/ Jack & Beverly Wilgus). La barre métallique, frottant contre la roche, produit une étincelle qui enflamme la poudre. Le trou dans la roche agit comme un canon, et la barre à mine est violemment projetée vers la tête de Phinéas, qu'elle va traverser, pénétrant sous l'oeil gauche pour ressortir, par le haut du crâne, au dessus du front (*ci-contre, reconstitution de la trajectoire de la barre à travers la tête*).

Le médecin de la compagnie raccompagne Phineas chez lui, le soigne comme il peut, puis commande un cercueil. Mais, contre toute attente, Phineas survit et, en apparence, guérit. Bien que son oeil gauche ne voit plus, il ne souffre d'aucune paralysie. Toutefois, ses proches et son médecin constatent qu'après son accident, sa personnalité a été modifiée: ce n'est plus «le même homme»; auparavant fiable et joyeux, il est devenu instable et asocial.

71 - Comment expliquer l'absence de toute paralysie ?

72 - Quelle hypothèse pouvez-vous avancer pour expliquer les changements qui ont affecté la personnalité de Phinéas ?

8 / La bosse des math (4 pts)

À la fin du 18e siècle, le médecin Franz Joseph Gall, spécialiste du cerveau, suggère à partir d'observations diverses (par exemple la forme du crâne de ses meilleurs étudiants) que la forme du crâne donnerait une indication sur plusieurs caractères des individus. En effet, il pense que les différentes parties du cerveau, en se développant, appuient plus ou moins sur le crâne, en modifiant la forme et formant ainsi des «bosses». Il s'oppose en cela à beaucoup de ses contemporains pour qui le cerveau est un «tout» qui ne se divise pas en parties spécialisées.

81 - En vous basant sur vos connaissances, que peut-on penser des idées de Gall ?

82 - Les contemporains de Gall avaient-ils raison ? (Expliquer votre réponse).

9 / - Le conte d'Hoffman (7 pts)

Le seigle est une plante cultivée attaquée par un champignon, l'ergot. Ce dernier est connu depuis le moyen âge comme ayant des effets utilisables en médecine, par exemple pendant les accouchements. Toutefois, à forte dose, il est toxique. Pour étudier plus complètement les propriétés de ce champignon, le chimiste Albert Hoffman, en avril 1943, fabrique artificiellement une molécule contenue dans ce champignon, et nommée, d'après ses initiales, LSD. Au cours de ce travail, il se frotte les yeux, et une infime quantité de LSD entre dans son organisme par cette voie. Dès lors, il ressent des vertiges, rentre chez lui et, pendant deux heures, il voit, les yeux fermés, des couleurs qui bougent dans tous les sens.

91 - Pourquoi est-il possible de «voir» les yeux fermés ?

92 - Afin d'être certain que ses problèmes viennent du LSD, Hoffman en avale une quantité infime de 0,25 mg (un morceau de sucre ayant une masse de 5000 mg). Il note ce qui se passe:

17:00 Début d'étourdissement, angoisse, troubles de la vue, paralysies, rires. Retour en vélo à la maison (...). Lors du trajet [...] mon état prit des proportions inquiétantes. Tout ce qui entrait dans mon champ de vision oscillait et était déformé (...). J'avais également le sentiment de ne pas avancer, alors que mon assistante me raconta plus tard que nous roulions en fait très vite.

Vers 18-20 heures: (...) Étourdissements et sensation de faiblesse étaient par moments si forts que je ne pouvais plus me tenir debout (...) Mon environnement se transforma alors de manière angoissante. [...] les objets familiers prirent des formes grotesques et le plus souvent menaçantes. Ils étaient empreints d'un mouvement constant, animés, comme mus par une agitation intérieure.

Vers 23 h: (...) jeu insolite de formes et de couleurs qui continuait derrière mes yeux fermés. Des formes fantasmagoriques et bariolées

déferlaient sur moi en se transformant à la manière d'un kaléidoscope, s'ouvrant et se refermant en cercles et en spirales, jaillissant en fontaines de couleur, se réorganisant et se croisant. (...) Toutes les perceptions acoustiques (...) se transformaient en sensations optiques. Chaque son produisait une image animée de forme et de couleur correspondante.
Comment expliquez-vous l'effet du LSD ?

10 / Translator (3 pts)
Traduire en français correct le paragraphe suivant, provenant de Wikipédia, qui est un excellent résumé sur le système nerveux :
«The nervous system is an organ system containing a network of specialized cells called neurons that coordinate the actions of an animal and transmit signals between different parts of its body. The nervous system is susceptible to malfunction in a wide variety of ways, as a result of genetic defects, physical damage due to trauma or poison, infection, or simply aging. »

11 / Berkeley (4 pts)
Dans le film «Matrix», le héros, Néo, lorsque Morpheus lui apprend que tout ce qu'il prend pour la réalité n'existe pas, dit:
- (Neo) : Tout ça n'est pas réel ?
- (Morpheus) : Qu'est-ce que le réel ? »
A vous d'essayer d'y répondre, en vous basant sur ce que vous savez du système nerveux, bien évidemment...

12 / Diversité (4 pts)
La communication nerveuse, tout comme la possibilité de mouvements rapides de tout l'organisme, est spécifique des animaux. A votre avis, les plantes possèdent-elles un moyen pour communiquer au sein de leur organisme ? De quel type pourrait-il être ?

13 - The Unicorn code (3 pts)

La Dame à la licorne est un ensemble de six tapisseries célèbres datant de la fin du 15e siècle et conservé au musée de Cluny à Paris. Cinq des six tapisseries sont en fait des «allégories», c'est à dire des représentations codées, en rapport avec le système nerveux.
En utilisant les agrandissements suivants (*doc. Wikimedia*), trouvez donc a quoi font référence ces tapisseries.







CORRECTIONS

Questions de cours

Quizz (10 pts)
1/ 4 à 400 km/h selon les fibres nerveuses concernées, leur taille, l'existence ou non d'une gaine isolante. C'est rapide, mais ça n'atteint pas la vitesse de la lumière (300 000 km s) !
2/ 1m de long, pour les neurones qui relient moelle épinière et pied ! Ce sont les plus longues cellules du corps.
3/ Tout est exact. Les neurones sont fragiles, et sensibles à de nombreuses substances. Médicaments et drogues agissent au niveau des synapses. Oxygène et glucose sont nécessaires à leur respiration.
4/ Les neurones ont leur noyau dans l'encéphale pour la plupart, et certains dans la moelle épinière, qui est aussi un centre nerveux
5/ Les neurones possèdent des dendrites, un corps cellulaire et un axone (réponse 4).

VRAI / FAUX.
A - *La moelle épinière et le cerveau sont des centres nerveux.* V car ils contiennent des neurones recevant et émettant des messages nerveux
B - *La destruction de la moelle épinière peut supprimer certains mouvements.* V, car les nerfs ne sont alors plus raccordés au cerveau.
C - *Un organe des sens est relié au cerveau par un nerf moteur.* F, par un nerf sensitif
D - *L'alcool diminue le temps de réaction d'un automobiliste.* F, au contraire, il l'augmente.

Colles

1/ A l'oeil (4 pts)
J. Dalton est incapable de faire la différence entre le rouge et le vert. Il y a donc un problème au niveau du «circuit nerveux» de la vision. On peut donc f en passant en revue tous les éléments nerveux impliqués, faire les hypothèses suivantes:
- le ou les récepteurs sensoriels sont défectueux. Peut être, tout simplement, qu'il existe dans l'oeil des récepteurs sensoriels pour la couleur rouge et d'autres pour la couleur verte, et qu'ils ne fonctionnent pas, ou mal, ou bien sont absents.
- le nerf optique est peut être défectueux, peut être que certaines fibres transportant les messages nerveux «rouge» et «vert» étant rompues ou absentes.
- les zones du cerveau détectant les couleurs sont défectueuses, et les messages nerveux de deux couleurs n'étant pas bien décodés, ces deux couleurs sont confondues en une seule.

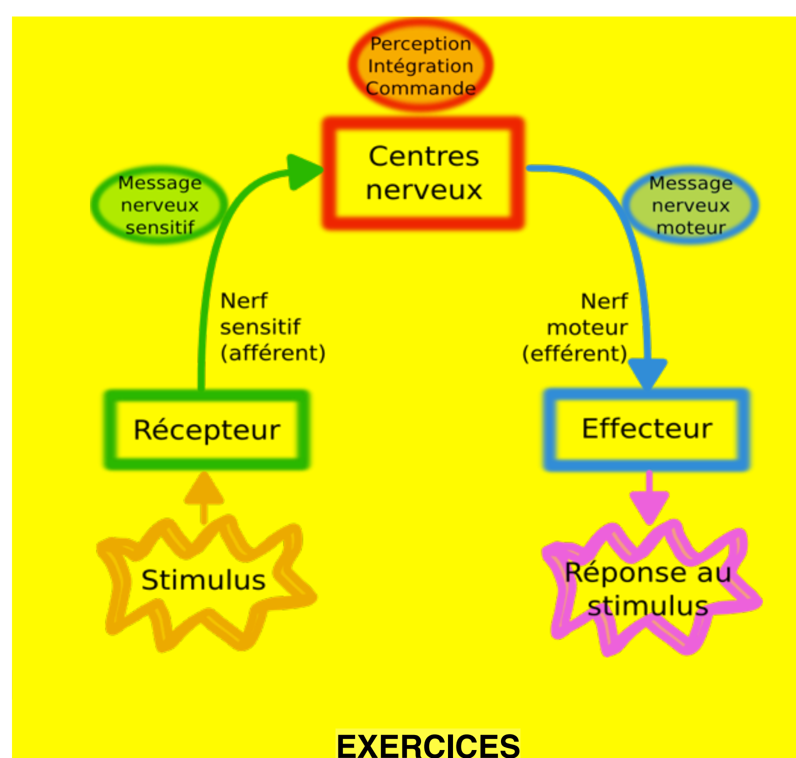
(*Il s'est avéré que la première hypothèse était la bonne, bien que Dalton ne l'ai jamais su, car cette explication nécessitait la connaissance des mécanismes cellulaires de la vision, inaccessibles à son époque, et n'entrant pas dans le cadre de votre programme*).

2/ court-circuit (5 pts)
L'oeil, récepteur sensoriel, transforme la lumière (l'image de la balle 1) en un message nerveux qui est envoyé par le nerf optique (2) jusqu'au cerveau (3). Le cerveau décode ce message, et la «décision» de l'intercepter est prise: il fabrique plusieurs messages nerveux moteurs transmis par la moelle épinière et les nerfs (4) jusqu'aux muscles de la jambe et de la main (5) dont les contractions permettront l'interception de la balle.

Le schéma présenté ici est très simplifié, car pour réaliser un mouvement, il y a bien plus de deux muscles et de deux nerfs qui sont sollicités. Tout un ensemble de messages moteurs est produit, qui passent par la moelle épinière et empruntent ensuite des nerfs divers vers tout un ensemble de muscles, le tout étant coordonné.

3/ Acouphènes (3 pts)
Comment peut-on entendre des sifflements que personne d'autre, autour de nous, n'entend ?
Plusieurs hypothèses peuvent l'expliquer:
Les récepteurs de l'oreille peuvent mal fonctionner, fabriquant des messages nerveux sans qu'un stimulus ne soit présent; ou bien la région du cerveau recevant les informations auditives peut «fabriquer» de «faux» bruits, que l'on «entend» comme des vrais, mais qui ne sont que le reflet de l'activité parasite du cerveau, et pas de l'environnement.

4/ Généralisation (7 pts)
La couleur verte représente les messages nerveux sensitifs, la rouge les centres nerveux et la bleu les messages nerveux moteurs sur le schéma, que l'on peut compléter de la façon suivante:



EXERCICES

1/ Repérages (6 pts)

Les structures rondes visibles à l'intérieur du nerf sont les fibres nerveuses dont il est constitué (ce sont les prolongements des axones de neurones)

Les structures rondes visibles à l'intérieur du muscle sont les fibres musculaires, c'est-à-dire les cellules qui composent le muscle (et vous savez depuis longtemps que tous les organes sont faits de cellules...).

La communication entre nerf et muscle n'est pas visible ici, car le nerf et les fibres qu'il contient apparaissent nettement séparées des cellules musculaires, dont il ne s'approche pas. De plus, on ne voit pas la «fin» des fibres nerveuses, qui sont simplement coupées transversalement.

2/ Les raisons du coeur (7 pts)

21 - Voici deux observations ou expériences montrant qu'Aristote était dans l'erreur:

- Alors que les individus qui ont survécu à un infarctus (une zone du coeur qui ne reçoit plus de sang) ne changent pas de personnalité, cela peut arriver pour celles qui subissent un AVC (mort d'une zone du cerveau ne recevant plus de sang - oui, c'était au programme de cinquième!)
- Il est possible, en faisant vite, de réanimer des personnes dont le coeur s'est arrêté (vous l'avez tous vu dans des séries), sans que leur personnalité ne soit changée alors que si c'est le fonctionnement du cerveau qui s'arrête, c'est la mort de l'individu.

22 - Voici quelques expressions françaises communes (elles sont nombreuses) qui laissent (à tort) penser que c'est bien dans le coeur que se situe l'origine des émotions ou de la pensée:

- en avoir le coeur net
- apprendre par coeur
- avoir le coeur gros
- les affaires de coeur (pour les sentiments)
- à coeur perdu
- briser le coeur

3/ La grenouille sans tête (4 pts)

Si S. Hales pince l'extrémité d'un membre de grenouille décapitée, ce dernier ce replie, comme cela se passe sur une grenouille «intacte» et vivante!

On en déduit que le cerveau n'est pas indispensable à la réalisation de ce mouvement. Visiblement, la réalisation de ce mouvement, de la détection du pincement à la contraction du muscle, ne le met pas en jeu.

Si la moelle épinière est détruite, alors le pincement du membre ne produit plus aucune réaction.

On en déduit que comme la présence de la moelle est indispensable, elle doit participer à la réalisation de ce mouvement. Or, les nerfs sensitifs y arrivent et les nerfs moteurs en partent. Comme eux ne sont pas détruits, on en conclut que **la moelle épinière est le centre nerveux** ou se gère le mouvement constaté, sans avoir besoin de «remonter» jusqu'au cerveau.

Cela signifie que la moelle épinière est un centre nerveux qui peut être «autonome» du cerveau, qui ne participe donc pas à la réalisation 'inconsciente» de certains mouvements (*c'était en 1730 une découverte importante, qui sera popularisée en 1750 par R. Whytt dans un livre « sur le mouvement vital et d'autres mouvements involontaires chez les animaux» qui popularisera pour la première fois l'idée que certains mouvements sont des «réflexes» ne nécessitant pas l'intervention du cerveau, et encore moins de la conscience*).

4/ De l'électricité dans l'air (12 pts)

41 - Les observations sont justes, mais il se trompe en pensant que le message nerveux n'est pas de nature électrique, car il compare les nerfs à ce qui est connu à son époque: le courant circulant dans un «fil de fer». Vous avez appris en physique ce qu'est un conducteur et un isolant. Reprenons les objections de Haller:

- « elle ne pourrait pas être retenue par des ligatures» : il est certain que si vous faites un noeud autour d'un fil électrique le courant passe encore, alors que ce n'est pas le cas avec un nerf. Mais en serrant le noeud, un nerf, faisceau

de fibres, ne se comporte pas comme un fil: la pression «chasse» le cytoplasme des fibres nerveuses de par et d'autre du noeud, ce qui ne permet plus le passage du courant. La ligature du nerf s'apparente donc, en fait, à une coupure d'un fil électrique (et dans ce cas, le courant ne passe plus non plus).
- « elle se répandrait dans les espaces voisins» : non, car le nerf est «isolé» par son emballage», ainsi que les fibres nerveuses, comme un fil électrique peut l'être par une gaine de plastique (ce qui était inconnu à l'époque d'Haller).

42 - Si les muscles se contractent, c'est qu'ils ont reçu un message nerveux. Le seul centre nerveux présent, c'est la moelle, où est planté le fil. On peut donc supposer que le fil métallique produit un faible courant qui se propage dans la moelle épinière et est transporté par les nerfs des pattes. Lorsque ce message arrive aux muscles encore frais, ces derniers se contractent (bien entendu, cela n'est passible que sur des «demi-grenouilles» fraîches, avant que la décomposition n'ait trop progressé).

En fait, le fil métallique joue le rôle d'une antenne radio (inconnu à l'époque), ce qui explique cette remarque de Galvani: «*il nous apparut clairement que, pour que le phénomène se produise, il était nécessaire, non seulement qu'un corps conducteur fût en contact avec le nerf, mais aussi que celui-ci devait avoir une certaine grandeur et une certaine longueur.*»

43 - Lorsque les crochets de cuivre enfoncés dans la moelle épinière entrent en contact avec les barreaux de fer du balcon, les muscles se contractent. On peut donc en déduire que le contact de ces deux métaux génère un message nerveux transmis par la moelle et les nerfs.

Comme le comportement de la grenouille est le même que si on applique sur la moelle épinière un léger choc électrique, Galvani peut en déduire que de l'électricité est responsable des contractions des muscles, est conduite par les nerfs et se manifeste au contact de deux métaux différents. Mais d'où provient cette électricité ?

44 - Relier moelle et muscle par un arc de métal provoque des contractions. On peut dire alors que l'arc de métal «remplace» le nerf. Comme s'il est isolant, il n'y a pas de contractions, de l'électricité est bien mise en jeu.

On pourrait en déduire que c'est bien de l'électricité qui circule dans le nerf, et que le message nerveux est de nature électrique. Ou bien, avec les connaissances modernes, que les métaux employés, différents, ou reliant des parties différentes, produisent un faible courant qui, parcourant moelle épinière et nerfs, provoque les contractions.

Toutefois, ce ne sont pas là les conclusions de Galvani: pour lui, ce qu'il observe, c'est qu'**il y a bien de l'électricité en cause dans les mouvements musculaires, et que cette électricité circule dans le système nerveux**. Mais il s'intéresse à l'origine de ce courant électrique; qui ne peut venir, selon lui, que de l'animal lui même.

45 - Après ses expériences, Galvani s'oppose à Haller, qui considérait que le message nerveux n'était pas de nature électrique.
Les découvertes de Galvani sur le message nerveux sont donc:
- sa nature électrique
- le caractère «isolant» de l'extérieur des nerfs (voir 41): «*c'est la substance interne du nerf qui conduit l'électricité, tandis que la couche grasse externe constitue un isolant qui empêche sa dispersion.*» Notera t'il.
- Par contre, l'effet de la ligature des nerfs n'est pas expliqué (les connaissances de l'époque ne le peuvent pas), montrant une différence entre nerf et fil, mais pas pour autant une différence entre message nerveux et électricité...

5/ Le Prométhée moderne (8 pts)

51 - Comment expliquez-vous les phénomènes provoqués par Aldini ?
Aldini impose un fort courant électrique à la surface de la peau du visage du cadavre de Forster. Se courant se répand dans le visage, et, soit provoque directement al contraction des muscles qui le reçoivent, soit emprunte le parcours des nerfs du visage pour créer de «faux» messages nerveux qui aboutissement à des mouvements.
Le même phénomène se produit lorsque le courant est appliqué au rectum, mais dans ce cas la proximité de la moelle épinière, ainsi que des muscles des membres inférieurs, explique les effets spectaculaires obtenus, terrifiants pour l'époque: avec de l'électricité, un mort pouvait bouger de nouveau...

52 - On envoyant des décharges électriques dans ce qui reste de moelle épinière, Weinhold génére des messages nerveux qui, empruntant les nerfs responsables de la marche, permettent à ses «zombis» décapités de se remettre à marcher indistinctement quelques instants.

De nos jours, l'électricité peut faire repartir un coeur arrêté, mais la quantité d'électricité appliquée doit être précise, et le choc électrique survenir très peu de temps après l'arrêt cardiaque. Encore le redémarrage n'est-il possible que si la cause de l'arrêt cardiaque peut être contrée par le choc provoquant une contraction de tous les muscles du thorax, donc du coeur...

On ne peut toutefois pas dire que l'on a «ressuscité» quelqu'un, car la personne n'était pas morte, mais inconsciente, du fait que son cerveau n'était plus alimenté en sang. Si cette situation dure plus de quelques minutes, le cerveau, dont les besoins en dioxygène sont énormes, commence à mourir, et la «réanimation» devient bien plus difficile, avec le risque de refaire fonctionner «en automatique» un organisme dont le cerveau conscient, donc l'individu, la personnalité, sera bel et bien mort alors que reste de l'organisme pourra rester en fonction (ce que l'on appelle la «mort cérébrale»).

53 - Ces expériences d'électrocutions de cadavres, entiers ou en morceaux, semblant revenir à la vie vont inspirer Mary Shelley pour son Roman, des plus célèbre, dont vous avez trouvé le titre: il s'agit bien entendu de Frankenstein.

Les points communs avec les conceptions d'Aldini et Weinhold y sont nombreux, de la fabrication d'une créature à partir de morceaux de cadavres assemblés à son «animation» au moyen des décharges électriques recueillies pendant un orage (un point qui d'ailleurs provient davantage des films réalisés depuis que du livre, Mary Shelly parlant plus de «souffle vital» que de courant, bien que ce dernier joue bien un rôle dans le livre).

On peut aussi noter que, bien longtemps après les expériences de Galvani, Aldini et autres, notre langue porte encore la marque de l'influence exceptionnelle qu'elles ont eue sur l'opinion: on utilise- toujours le verbe «galvaniser» dans le sens de «donner de l'énergie à un individu ou un groupe» et on parle toujours, à propos de la vie, d'»étincelle vitale», comme celles qui environnaient les premières machines électriques de Galvani et le laboratoire du Viktor von Frankenstein de M. Shelley!

6 / Les expériences discutables de R. Bartholow (10 pts)

61 - Les résultats obtenus par Hitzig et Fristch montrent:
- que c'est bien le cerveau qui est à l'origine des messages nerveux moteurs
- que ces messages ne sont pas fabriqués n'importe où dans le cerveau, mais dans une zone bien précise (une bande de quelques cm2 que l'on appellera le cortex moteur)
- qu'à l'intérieur de cette zone, il existe des «correspondances» avec les mouvements de certains membres (puisque la stimulation de certaines zones aboutit toujours au même mouvement du même membre).

62 - Les expériences de Bartholow confirment que l'organisation du cerveau humain est identique à celle des autres animaux. Elles montrent aussi qu'il existe dans le cerveau des zones correspondant non seulement aux mouvements, mais aussi à certains comportements et à l'humeur des individus. Accessoirement, Bartholow démontre aussi qu'en tant qu'organe, le cerveau est insensible à la douleur.

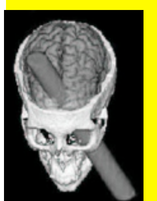
Les phénomènes constatés s'expliquent de la façon suivante:
- les zones motrices stimulées par le courant produisent automatiquement des messages nerveux qui descendent la moelle épinière puis empruntent différents nerfs avant de provoquer la contraction des muscles effecteurs des mouvements constatés
- La stimulation de certaines zones du cerveau crée à l'intérieur de celui-ci des messages nerveux «parasite» qui sont «ressentis» par Mme Rafferty comme des changements d'humeur.

63 - Les expériences de Bartholow étaient plus que discutables: voilà un médecin qui, au lieu d'essayer de soigner du mieux possible sa patiente, l'utilise pour pratiquer des expériences dangereuses, allant même jusqu'à jouer un rôle indéfini dans la mort de celle-ci. Ces expériences ont d'ailleurs été critiquées à l'époque par l'association médicale américaine, mais Bartholow n'a jamais été inquiété à leur sujet.

De plus, il s'est avéré que Bartholow avait été devancé par Hitzig: le 10 décembre 1870, le soldat français Joseph Masseau, âgé de 20 ans, fut blessé sur le côté droit de la tête par une balle qui, emportant une partie des os du crâne, exposa son cerveau. Hitzig, qui savait que Galvani avait observé chez les grenouilles des mouvements en stimulant électriquement son cerveau, réalisé sur ce jeune homme le même type d'expériences, observant lui aussi des mouvements involontaires en réponse à de faibles stimulations électriques de la surface du cerveau.

64 - «Lorsque l'aiguille pénétra la substance du cerveau, elle se plaignit d'une forte douleur dans le cou. Afin de développer des réactions plus nettes, la force du courant a été augmentée... son visage reflétait une grande détresse, et elle se mit à pleurer. Très vite, la main gauche se projeta, comme pour prendre un objet devant elle, le bras étant agité à ce moment de spasmes cloniques, ses yeux devinrent fixes, avec les pupilles largement dilatées, les lèvres étaient bleues, et elle bavait (...), elle a perdu connaissance et s'est violemment convulsé sur le côté gauche. La convulsion a duré cinq minutes, et a été suivie d'un coma. Elle est revenue à la conscience une vingtaine de minutes après le début de l'attaque, et se plaignait de faiblesse et de vertiges.»

7/ L'étrange cas de Phineas Cage (6 pts



71 - La barre de fer a traversé (et donc détruite) des zones précises du cerveau de Phineas. L'absence de toute paralysie montre qu'aucune des zones détruites n'était impliquée dans la réalisation de mouvements. Vu l'illustration, ces zones ne se trouvent donc pas à l'avant droit du cerveau ...

72 - Les changements qui ont affecté la personnalité de Phinéas peuvent s'expliquer si l'on fait l'hypothèse que la zone détruite de son cerveau est impliquée dans la définition du caractère et de la personnalité d'un individu.
Toutefois, on peut aussi supposer que la violence de l'accident et la perte d'un oeil ont aussi pu jouer un rôle dans les changements de caractère qui ont affecté Phinéas.

Phinéas II le retour ?
Le mercredi 15 août 2012, à Rio, l'ouvrier E. Leite, âgé de 24 ans, travaillant sur un chantier de construction, s'agenouille pour ramasser ses outil. A ce moment, une barre de fer d'1,8 m qui a chuté du cinquième étage lui traverse la tête, pénétrant en arrière du crâne, côté droit, pour ressortir entre les deux yeux. M. Leite, pleinement conscient et ne ressentant aucune douleur, se rend à l'hôpital ou il est opéré. Certaines parties du cerveau détruites sont voisines de celles qui ont été touchées chez Phinéas. Les conséquences de l'accident pourraient donc être les même, ce qui sera à vérifier à l'avenir. Dans les deux cas, toutefois, on doit remarquer qu'avec beaucoup de «chance», aucune artère ou veine majeure irriguant le cerveau n'a été touchée.

8/ La bosse des math (4 pts)

81 - Gall ne se trompe pas en affirmant que le cerveau comprend différentes parties, mais par contre il se trompe en pensant que ces parties, selon leur activité, «gonflent» et appuient sur le crâne. En effet:
- le cerveau n'est pas un muscle, son volume et sa forme ne change pas quant il fonctionne plus ou moins.
- pour déformer le crâne, il faudrait que les capacités des individus se manifestent lorsque le crâne se forme encore, donc très tôt..

82 - Les contemporains de Gall pensaient que le cerveau est un «tout» qui ne se divise pas en parties spécialisées.En cela, ils se trompaient aussi, puisque le cerveau est organisé en «territoires» spécialisés chacun dans une fonction bien déterminée. Par contre, ces différents territoires fonctionnent comme un «tout» en apparence, car ils communiquent entre eux afin d'assurer le fonctionnement correct de l'organisme.

9 / - Le conte d'Hoffman (7 pts)

91 - Il possible de «voir» les yeux fermés, car ce ne sont pas els yeux qui voient, mais le cerveau. Les yeux ne font que fabriquer des messages nerveux à partir de la lumière qu'ils reçoivent. Si le cerveau fabrique ces messages nerveux lui même dans l'aire de la vision, alors l'individu «voit» des éléments qui n'ont pas d'existence réelle (cette capacité d'abstraction est même à la base de la pensée, de l'imagination, de la conscience).

92 - D'après ses effets, le LSD est une drogue. Il agit donc au niveau de la communication entre les neurones, en générant des messages nerveux parasites qui gênent la communication des neurones.
Ainsi, si l'on reprend dans l'ordre chronologique:
- les aires de la vision, donc les neurones de la vision, sont perturbées (troubles de la vue, oscillations, mouvements inexistants) puis les zones voisines, le lien entre les différents objets vus ne se faisant plus (sentiment de ne pas avancer)
- les zones responsables de l'équilibre sont aussi parasitées.
- la perception des formes des objets et du mouvement est ensuite perturbée (objets déformés et mobiles)
- le LSD créé ensuite des messages nerveux dans les aires visuelles, qui aboutissent à voir des formes et des couleurs inexistantes, régulières et animées (kaléidoscope...).
- le LSD provoque ensuite des correspondances, des liaisons entre des parties du cerveau qui normalement ne communiquent pas. Ainsi, les messages nerveux venant du nerf auditif, au lieu de se limiter aux aires de l'audition, sont transmis aux aires de la vision, où ils provoquent la formation de messages interprétés comme des couleurs et des formes: le son est alors transformé en images (*toutes les perceptions acoustiques (...) se transformaient en sensations optiques. Chaque son produisait une image animée de forme et de couleur correspondante).*

Après plusieurs heures, le LSD est évacué du cerveau et de l'organisme par la circulation sanguine.

10 / Translator (3 pts)

Le système neveux est un ensemble d'organes contenant un réseau de cellules spécialisées appelées neurones qui coordonnent les actes des animaux et transmettent des signaux entre les différentes parties de leur

corps. Le système nerveux est susceptible d'être perturbé par une large variété de facteurs, que ce soit le résultat de maladies héréditaires, des dommages physiques causés par des accidents ou des substances toxiques, des infections ou simplement par la vieillesse.

11 - Berkeley (4 pts)
La réalité, pour chaque individu, c'est la somme des informations envoyées par les organes sensoriels au système nerveux, et ce qu'en fait ce système nerveux.
Vous n'avez donc pas la même perception du monde qu'une fourmi, une abeille ou un chien.

Ce qui pose donc une question (à laquelle nous ne répondrons pas): existe t'il une réalité en dehors de l'activité du système nerveux, ou celle-ci n'en est-elle que le résultat ?
Car, si vous réfléchissez à ce que vous venez d'apprendre, tout ce que vous êtes, tout ce que vous savez, percevez ou croyez savoir n'est jamais que le résultat de l'activité électrique d'une zone de votre cerveau du volume de votre pouce ...

12 - Diversité (4 pts)
Comme tous les êtres vivants, les plantes sont constituées de cellules (vous le savez depuis la sixième!). Ces cellules forment des organes spécialisés (racines, tiges, feuilles) qui doivent bien communiquer entre eux: il est donc logique qu'un système de communication relie, par exemple, les racines aux feuilles.
Par contre, les végétaux n'ont pas de système nerveux. Mais vous devez avoir entendu parler de la sève, qui circule dans les végétaux. Le moyen de communication entre les différentes parties des végétaux doit donc être un moyen qui puisse, pour voyager, se faire transporter par la sève. Cela devrait vous faire penser aux hormones des animaux, qui ont, en effet, leurs équivalents chez les plantes. Le système de communication des végétaux est donc de type hormonal.

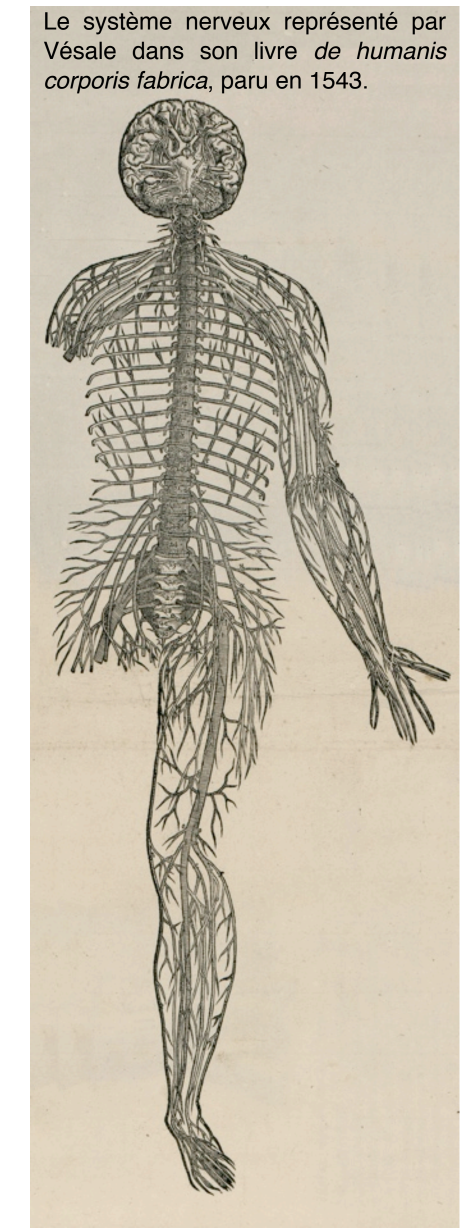
13 - The Unicorn code (3 pts)
Cette série, la «Dame à la licorne» est en rapport avec la système nerveux. Que voit-on sur les agrandissements? Un miroir où se reflète l'image de la licorne, une lyre, un singe qui sent une fleur, une main qui touche la corne et une autre main qui puise dans une corbeille de graines ou de fruits.
Il n'est pas très difficile de voir ici une représentation codée des cinq sens principaux: la vue (miroir), l'ouïe (lyre), l'odorat (fleur), le toucher (corne) et enfin le goût (graines).

Le début de cette fable («un animal dans la Lune») décrit fort bien le rôle du système nerveux central.

Pendant qu'un Philosophe assure,
Que toujours par leurs sens les hommes sont dupés,
Un autre Philosophe jure,
Qu'ils ne nous ont jamais trompés.
Tous les deux ont raison ; et la Philosophie
Dit vrai, quand elle dit que les sens tromperont
Tant que sur leur rapport les hommes jugeront ;
Mais aussi si l'on rectifie
L'image de l'objet sur son éloignement,
Sur le milieu qui l'environne,
Sur l'organe, et sur l'instrument,
Les sens ne tromperont personne.
La nature ordonna ces choses sagement :
J'en dirai quelque jour les raisons amplement.
J'aperçois le Soleil; quelle en est la figure ?
Ici-bas ce grand corps n'a que trois pieds de tour :
Mais si je le voyais là-haut dans son séjour,
Que serait-ce à mes yeux que l'oeil de la nature ?
Sa distance me fait juger de sa grandeur ;
Sur l'angle et les côtés, ma main la détermine ;
L'ignorant le croit plat, j'épaissis sa rondeur ;
Je le rends immobile, et la terre chemine.
Bref, je démens mes yeux en toute sa machine.
Ce sens ne me nuit point par son illusion.
Mon âme en toute occasion
Développe le vrai caché sous l'apparence.
Je ne suis point d'intelligence
Avec mes regards peut-être un peu trop prompts,
Ni mon oreille lente à m'apporter les sons.
Quand l'eau courbe un bâton, ma raison le redresse,
La raison décide en maîtresse.
Mes yeux, moyennant ce secours,
Ne me trompent jamais, en me mentant toujours.

Jean de la Fontaine, livre VII, fable 17, 1678

Le système nerveux représenté par Vésale dans son livre *de humanis corporis fabrica*, paru en 1543.



Glossaire

Neurone en croissance. Photo ASCB / K. Nobes, M. Shipman

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Acouphène: sensation auditive qui n'est pas provoquée par un stimulus externe, mais par l'activité du système nerveux. Ils prennent souvent la forme de sifflements.

Aire cérébrale: Région du cerveau spécialisée dans une fonction particulière.

Alcaloïde : famille de substances employées en médecine et ayant une composition voisine.

Alcoolémie: Quantité d'alcool pur contenue dans un litre de sang.

Altérer: abimer, endommager.

AVC: accident vasculaire cérébral, arrêt de la circulation sanguine limitée à une zone du cerveau, qui est alors incapable de jouer son rôle.

Axone: Prolongement du neurone qui conduit l'information depuis le corps cellulaire vers d'autres cellules.

Bénédictin. Ordre religieux catholique.

Cerveau: Organe du système nerveux, logé dans la tête. Egalement appelé « encéphale ».

Corps cellulaire: Partie globuleuse du neurone, contenant le noyau. Les corps cellulaires des neurones sont situés dans les centres nerveux.

Dendrites: Prolongements du neurone qui amènent l'information vers le corps cellulaire.

Drogue: Substance pouvant modifier l'état de conscience d'un individu.

Effecteur: organe qui produit un effet en réponse à un message nerveux.

Encéphale: Autre nom du cerveau.

Fibre nerveuse: Prolongement fin de la cellule nerveuse, de longueur variable, et pouvant être très long (axone). Ce sont les fibres nerveuses des neurones qui constituent les nerfs.

Ligature: pose d'un noeud serré autour d'un organe (souvent vaisseau sanguin ou nerf).

Message nerveux: Information transmise par les nerfs à partir des centres nerveux ou des organes sensoriels. On distingue les messages nerveux sensitifs (qui circule d'un organe sensoriel vers un centre nerveux) et les messages nerveux moteurs circulant d'un centre nerveux (cerveau, moelle épinière) vers un organe effecteur (muscle).

Moelle épinière: centre nerveux situé à l'intérieur des vertèbres, reliée à l'encéphale et d'où part l'ensemble des nerfs du corps (sauf ceux de la tête). **Ne pas confondre** avec la moelle osseuse, organe situé dans les os longs, et qui ne fait pas partie du système nerveux!

Néfaste: dangereux, mauvais, perturbant.t

Nerf: Élément du système nerveux reliant les centres nerveux (cerveau + moelle épinière) aux autres organes (un muscle par exemple, ou un organe sensoriel)

Neurone: Cellule spécialisée dans la réception, la genèse et la transmission de messages nerveux.

Olfaction: sens de l'odorat, capacité à percevoir les odeurs.

Organe effecteur: Organe qui effectue une commande (par exemple un mouvement), en réponse à un message nerveux.

Organe récepteur = organe sensoriel: Organe sensible à une stimulation de l'environnement ; il regroupe les cellules sensorielles sensibles à un stimulus déterminé.

Perception: Identification des sensations.

Récepteur sensoriel: Structure cellulaire sensible à un stimulus externe.

Rétine: partie de l'oeil convertissant la lumière en messages nerveux.

Stimulation: Excitation perçue par un organe sensoriel (œil, peau, oreille…) et qui est à l'origine de certains mouvements.

Stimulus: (au pluriel stimuli) Modification de l'un des facteurs du milieu, qui peut être détectée par l'un de nos organes sensoriels.

Synapse: Zone spécialisée permettant la continuité de la transmission du message nerveux d'un neurone à l'autre, par l'intermédiaire de messagers chimiques.

Système nerveux: Ensemble formé par les centres nerveux et les nerfs.

Thérapeutique: qui soigne.

Transmission: Déplacement des messages nerveux le long des nerfs.

Voie motrice: Voie qui relie un centre nerveux à un organe effecteur.

Voie sensitive: Voie qui relie un organe récepteur à un centre nerveux.

Partie avant d'un cerveau humain observée au scanner. Doc Wikimedia

Texte

Au début du 20e siècle, l'écrivain Marcel Proust a écrit une oeuvre qui comporte 7 volumes, dédiés aux pouvoirs de la mémoire et des sensations, et intitulée «À la recherche du temps perdu». En voici un extrait, tiré du volume «Du côté de chez Swann», paru en 1913:

«un jour d'hiver, comme je rentrais à la maison, ma mère, voyant que j'avais froid, me proposa de me faire prendre, contre mon habitude, un peu de thé. Je refusai d'abord et, je ne sais pourquoi, me ravisai. Elle envoya chercher un de ces gâteaux courts et dodus appelés Petites Madeleines qui semblent avoir été moulés dans la valve rainurée d'une coquille de Saint-Jacques. Et bientôt, machinalement, accablé par la morne journée et la perspective d'un triste lendemain, je portai à mes lèvres une cuillerée du thé où j'avais laissé s'amollir un morceau de madeleine. Mais à l'instant même où la gorgée mêlée des miettes du gâteau toucha mon palais, je tressaillis, attentif à ce qui se passait d'extraordinaire en moi. Un plaisir délicieux m'avait envahi, isolé, sans la notion de sa cause. Il m'avait aussitôt rendu les vicissitudes de la vie indifférentes, ses désastres inoffensifs, sa brièveté illusoire, de la même façon qu'opère l'amour, en me remplissant d'une essence précieuse : ou plutôt cette essence n'était pas en moi, elle était moi. J'avais cessé de me sentir médiocre, contingent, mortel. D'où avait pu me venir cette puissante joie ? Je sentais qu'elle était liée au goût du thé et du gâteau, mais qu'elle le dépassait infiniment, ne devait pas être de même nature. D'où venait-elle ? Que signifiait-elle ? Où l'appréhender ? Je bois une seconde gorgée où je ne trouve rien de plus que dans la première, une troisième qui m'apporte un peu moins que la seconde. Il est temps que je m'arrête, la vertu du breuvage semble diminuer. Il est clair que la vérité que je cherche n'est pas en lui, mais en moi. »

M. Proust, 1923

Idées de lecture

Des fleurs pour Algernon, de Daniel Keyes, 1966.
Dans ce roman, un simple d'esprit subit une opération visant à améliorer son intelligence.

Le scaphandre et le papillon, JD Bauby, 1997
L'auteur raconte sa vie à l'hôpital; brutalement, à la suite d'un AVC, toutes les voies motrices passant par le dessous du cerveau sont coupées. Il se retrouve totalement paralysé, muet, et ne communique qu'un clignant de l'oeil.

Le cerveau pour les nuls, de D. Sedel et O. Lyon-Caen
Pour prolonger le cours.

Idées de films

L'organe mystérieux et fascinant qu'est le cerveau a inspiré, bien ou mal, nombre de scénaristes. Quelques films de science-fiction y faisant référence:

La guerre des cerveaux, de B. Haskin, 1968
Le cobaye, de B. Leonard, 1992
Phénomène, de J. Turteltaub, 1996
Matrix, des frères A. et L. Wachowski, 1999

Manuel libre & gratuit.

Copiez-le !

Téléchargez-le !

Donnez-le !

Remarque sur les programmes

Dans ce manuel, nous considérons les programmes officiels de la classe de quatrième non comme le maximum de ce que doivent savoir les élèves, mais comme le minimum permettant de leur ouvrir l'esprit.

Les programmes sont donc parfois complétés, dès que la compréhension globale d'un phénomène l'exige, sans toutefois dépasser le niveau que l'on peut attendre d'un élève motivé.



Illustrations

Les illustrations de ce manuel ont des origines diverses. Toutes ont été mentionnées. Certains auteurs ont réalisé des schémas ou des photographies, et leurs contributions sont signalées par leurs initiales:
CB, Céline Bon; VG, Valérie Goubard; GK, Gwenael Kervadec; JPM, Jean Pierre Moussus; MN, Magali Naville; RR, Roger Raynal; DS, Denis Seguette.

D'autres illustrations proviennent :

- de Wikimedia et ses contributeurs qui mettent à disposition d'excellents documents sous licence wikimedia commons, et qui doivent donc être remercié (les schémas originaux de ce manuel seront également rendus disponibles sur wikimedia). Les auteurs des documents choisis ont été mentionnés, sauf dans le cas où ces derniers sont dans le domaine public.

- de l'American Society for Cell Biology, qui met en ligne une banque de photographies sous licence CC (ce que notre CNRS est incapable de faire...)

Remerciements

Le directeur de cet ouvrage tient à remercier particulièrement

- Le congrès des USA pour le Federal Research Public Access Act exigeant de toute agence fédérale l'accès permanent, libre et gratuit pour tous aux publications scientifiques.
- les concepteurs des licences creative commons et GNU qui ont permis de trouver (et de créer) facilement des documents pour cet ouvrage.
- Le Nouvel Observateur, pour m'avoir autorisé à reproduire certains textes.
- et bien évidemment les auteurs du manuel pour leur travail et leur implication malgré les vicissitudes qui ont marqué une année de travail.

R. Raynal

Dr de l'université de Toulouse.

Support en ligne



Le site www.exobiologie.info sera votre lien vers les mises à jour du manuel. Vous pourrez également joindre directement le directeur d'ouvrage.

Évitez d'imprimer



Un document sous forme électronique doit le rester le plus possible: c'est ainsi que vous aurez accès à toute sa richesse, à ses liens, ses vidéos et ses possibilités de navigation. Imprimer est le plus souvent inutile, et représente une dépense (en encore surtout, en papier ensuite) qui n'est pas négligeable. Si vous le pouvez, conservez et utilisez ce manuel sous sa forme électronique.

Iamque opus exegi, quod nec Iovis ira nec ignis nec poterit ferrum nec edax abolere vetustas. Cum volet, illa dies, quae nil nisi corporis huius ius habet, incert spatium mihi finiat aevi: parte tamen meliore mei super alta perennis astra ferar, nomenque erit indelebile nostrum.

Ovide, Métamorphoses, livre XV, 871-876

